Robótica

Robótica

Igor Polezi Munhoz

Sumário

Palavras do autor

Bem-vindo à disciplina Robótica.

Inicialmente, a palavra robô foi utilizada para representar um dispositivo mecânico, projetado para realizar um determinado conjunto de tarefas para auxiliar o ser humano. Entretanto, esse conceito está evoluindo continuamente, assim como a ideia de surgimento intermitente de novas tecnologias, que não possuem limites para avançar e produzir sistemas que apresentam um comportamento cada vez mais evoluído, incorporando o conceito de "dispositivo autônomo", ou seja, uma classe de sistemas físicos capazes de interagir com o ambiente em que ele se encontra e atuar sobre ele, realizando tarefas e cumprindo objetivos.

Esses dispositivos caracterizam-se pela intensa flexibilidade funcional e operacional, além de poderem ser aplicados em uma variedade de situações na indústria atual. Esse é o primeiro nível de conhecimento que você vai adquirir nesta disciplina. A partir desse entendimento, a próxima etapa será compreender como é a estrutura de um sistema robótico, a especificidade de cada parte desse sistema e como é o seu comportamento para que ele realize uma determinada trajetória.

Conhecendo o sistema robótico como um dispositivo formado por vários subsistemas, você estará apto a entender como programar um comportamento para esse dispositivo e aprenderá a utilizar recursos computacionais para realizar a programação do seu comportamento.

Você verá que a autonomia de um robô é determinada de acordo com a capacidade de interação e reconhecimento desses sistemas com o ambiente, de forma inteligente. Neste contexto, você verá como é possível trabalhar com a visão computacional associada aos robôs, e como eles podem ser robôs que se movem de forma autônoma em ambientes industriais. Desse modo, como hoje se trabalha com realidade virtual e teleoperação, você irá investigar a aplicação dos sistemas de teleoperação em robótica, utilizando os recursos da internet.

Por fim, após construir esses diferentes contextos de aprendizagem sobre sistemas robóticos, você terá desenvolvido:

- A competência para planejar soluções de automação.

- A aplicação de critérios para seleção e avaliação de desempenho de robôs.

- A simulação de processos produtivos com recursos computacionais.

Este contexto de realidade tecnológica será altamente motivacional para o seu futuro.

Bom trabalho!

Conceitos fundamentais sobre sistemas robóticos

Convite ao estudo

Nesta unidade, você será apresentado a conceitos fundamentais da robótica, associados aos sistemas robóticos e sua aplicação em automação de sistemas. O objetivo é capacitá-lo a entender o que é um sistema robótico em termos de funcionalidade, estrutura e aplicações, a fim de que seja utilizado como um recurso para aumentar a produtividade nas indústrias.

Essa visão capacitará você a avaliar um processo produtivo e ponderar sobre a possibilidade de automatizá-lo, utilizando robôs com uma determinada estrutura, para que você seja capaz de traçar uma determinada trajetória.

Suponha que você é escalado para rever o sistema de produção de uma indústria pertencente ao setor automobilístico. Esse setor é alvo de uma intensa competitividade e produtividade, o que implica, necessariamente, em automação desses processos. Ainda que possam existir sofisticadas máquinas de controle numérico e centros de usinagem, os robôs possuem uma flexibilidade enorme, que permite que sejam empregados para diversas atividades. Portanto, para avaliar o quanto essa indústria está instrumentalizada para manter-se competitiva, você deve ser capaz de avaliar os processos que são realizados, a fim de verificar quais as atividades que podem ser realizadas mediante a atuação de sistemas robóticos. Dessa forma, qual seria o procedimento que você utilizaria para avaliar se as atividades podem ser realizadas por robôs? Por explicar às diferentes áreas de atuação onde os sistemas afetariam a produtividade para que seja possível estabelecer

um método para indicar a inserção de sistemas robóticos que impactariam na produtividade. Uma vez realizada essa análise macro, como você determinaria a especificação inicial das partes de cada um dos sistemas robóticos para as diferentes aplicações que se mostrarem necessárias, após sua análise global? Definindo um procedimento claro e objetivo que possa orientar essa análise. Por fim, considerando o comportamento de um robô em um ambiente industrial, como deve ser tratado o problema de modelagem geométrica para a primeira especificação de trajetória destes robôs, atendendo às necessidades dos processos de produção em que eles serão utilizados como recursos?

De forma progressiva, você estará desenvolvendo novos conhecimentos técnicos e sendo capaz de resolver problemas de automação a partir da aplicação de sistemas robóticos.

Então, vamos iniciar?

Seção 1.1

Fundamentos e conceitos

Diálogo aberto

Para que um sistema de produção seja competitivo, é necessário contemplar requisitos de produtividade elevada mediante baixo custo, qualidade e flexibilidade.

Se for considerado que um Sistema de Produção é constituído por Unidades de Produção (UPs), nas quais uma variedade de produtos pode ser fabricada, desde a condição de matéria-prima até a obtenção de um produto final propriamente dito, é possível afirmar que essas UPs necessitam de dispositivos capazes de realizar as seguintes tarefas:

- Alimentação das UPs – dispositivos capazes de realizar tarefas de manipulação de itens, para a carga e descarga dos mesmos, em cada UP.
- Transporte entre UPs – dispositivos capazes de realizar tarefas de transporte de itens entre UPs, para a realização dos processos de produção, que constituem os processos de fabricação de cada item que estiver sendo fabricado.
- Processamento – dependo da atividade que está sendo realizada na UP, a própria UP pode ser um robô. Por exemplo, se for uma UP de montagem, pintura, etc.

Relembrando o contexto descrito, você foi escalado para rever a produtividade de uma indústria do setor automobilístico. Dada a competitividade intensa que ocorre neste setor, os robôs tornam-se uma ferramenta estratégica em virtude de sua elevada flexibilidade funcional e operacional. Portanto, o primeiro aspecto a ser avaliado é quanto a verificação da viabilidade de se inserir sistemas robóticos no sistema de produção em estudo, para verificar quais as atividades que podem ser realizadas por esses sistemas. Surge então o questionamento: qual seria o procedimento que você utilizaria para avaliar se as atividades podem ser realizadas por robôs?

Quais seriam as diferentes áreas de atuação nas quais os robôs afetariam a produtividade de forma positiva? Nesta seção, você

aprenderá a interpretar e classificar os processos que ocorrem em um sistema de produção; também aprenderá um método que te orientará a respeito de como proceder para automatizar e obter melhorias no desempenho de um sistema. Verá, ainda, conceitos fundamentais vinculados à robótica, e a maneira como os robôs podem ser classificados, segundo diferentes critérios, além de uma visão geral de aplicações envolvendo robôs.

Vamos iniciar?

Não pode faltar

Automação de Sistemas e Robótica

Os robôs são utilizados, atualmente, em diversas situações na indústria. Podemos afirmar que a maioria das aplicações se concentra na indústria de manufatura e, neste contexto, na presente disciplina, vamos considerar que um Sistema de Produção (SPr) é um sistema de manufatura, que possui pessoas e equipamentos (dentre eles pode possuir robôs), que são recursos para a realização do processo de produção associados aos processos de fabricação dos produtos produzidos nesses sistemas (GROOVER, 2011).

Portanto, quais são as principais atividades presentes em um SPr, para que você possa executar seu processo de fabricação?

De uma forma geral, podemos dizer que existem quatro tipos de atividades:

a) Atividades de processamento: realizam as funções de transformação do produto.

b) Atividades de distribuição: realizam as funções de manipulação e transporte de produtos.

c) Atividades de agrupamento e desagrupamento: realizam as funções de montagem (paletização) e desmontagem (despaletização) de itens.

d) Atividades de inspeção: realizam funções de aferição e controle de qualidade.

Para cada tipo de atividade devemos avaliar a possibilidade de aplicação de sistemas robóticos. O método **USA** *(Undestand, Simplify, Automate)* é útil para desenvolver soluções de automação e melhorias, considerando a possibilidade de uso de robôs (GROOVER, 2011).

O método USA

Para que um sistema seja automatizado em busca de melhorias, há um método que se baseia em três fases:

Fase 1 **U** *(understand)*: compreender o processo existente – os recursos disponíveis, as etapas do processo de fabricação, as atividades de acordo com a classificação mostrada anteriormente.

Fase 2 **S** *(simplify)*: simplificar o processo existente. Uma vez interpretado o processo existente, o próximo passo consiste em buscar uma simplificação, questionando em cada atividade se: (i) ela pode ser eliminada? (ii) ela pode ser simplificada? (iii) ela pode ser combinada com outra? (iv) existem atividades que podem ser executadas em paralelo?

Fase 3 **A** *(automate)*: automatizar o processo existente. Depois que o processo foi simplificado, é o momento de se propor automação buscando melhorias nas quatro classes de atividades já vistas, para: (i) melhoria no processamento; (ii) melhoria na manipulação e transporte; (iii) melhoria nas atividades de montagem e desmontagem; (iv) melhoria na inspeção. Em cada situação, você deve avaliar a aplicação de sistemas robóticos.

Conceitos Fundamentais

Antes de avançarmos, é preciso definir o conceito central desta disciplina: a definição de robô. Existem várias definições pertinentes. Isaac Asimov descreveu um protocolo de ética e conduta que determinava as leis de comportamento de um robô. A definição oficial dada pela Associação das Indústrias de Robótica – AIR (conhecida anteriormente como Robot Institute of America – RIA), é: "robô é um manipulador reprogramável, multifuncional, projetado para mover materiais, peças, ferramentas ou dispositivos específicos, através de vários movimentos programados para realizar uma variedade de tarefas".

A ISO 10218 (International Standard Organization) propôs a seguinte definição: "robô é um manipulador reprogramável com vários graus de liberdade com base fixa ou móvel, capaz de manipular materiais, peças, ferramentas, segundo trajetórias variáveis que permitam realizar tarefas diversas" (RIASCOS, 2010).

Pesquise mais

Em 1945, Isaac Asimov, conhecido por ser o pai da palavra robótica, formulou as três leis da robótica a fim de estabelecer um padrão de ética e conduta esperado para um robô.

Acesse o link a seguir e saiba mais sobre esse assunto, que é muito interessante: NOGUEIRA, Salvador. **Legislação Robótica**. Disponível em: <https://goo.gl/oquK6a>. Acesso em 28 jun. 2017.

Ainda que tenha havido uma evolução no conceito, com a definição da norma ISO, está definido que um robô precisa ser um manipulador. Entretanto, sabemos que existem robôs com outras funcionalidades, como robôs móveis, por exemplo. Portanto, é fundamental entendermos que a robótica é um campo em constante evolução e que sua definição evolui conjuntamente. No momento, podemos considerar que a definição de robô permeia questões voltadas para a autonomia, percepção de sensações, capacidade de planejamento e definição de estratégias para atuar no mundo físico (SANTOS; GORGULHO JÚNIOR, 2015).

Classificação dos Robôs

Os robôs industriais podem ser classificados considerando-se seis aspectos fundamentais (RIASCOS, 2010; SANTOS; GORGULHO JÚNIOR, 2015):

1. De acordo com o sistema de controle – uma vez que o robô deve ser autônomo, dependendo dos graus de liberdade que necessitam ser controlados, o sistema de controle terá um grau de autonomia necessário para comandar os diversos graus de liberdade, para que possa cumprir uma determinada tarefa que lhe foi conferida.

2. De acordo com a mobilidade da base – podemos ter robôs fixos ou móveis. Por sua vez, os robôs móveis podem ser terrestres, aquáticos ou aéreos.

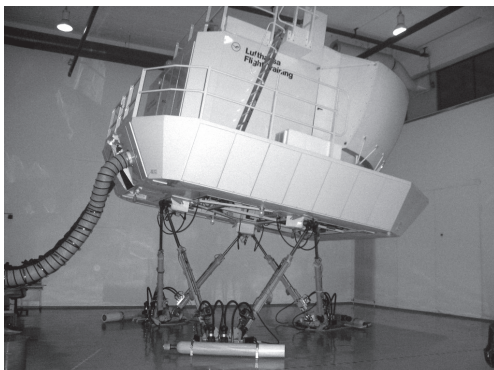
3. De acordo com a estrutura cinemática – podem ser classificados como robôs de cadeia cinemática fechada (em que várias cadeias abertas são utilizadas paralelamente para suportar uma plataforma - ou aberta - em que vários elementos são conectados por ligações, compondo a maioria dos manipuladores)

usados na indústria. A Figura 1.1 mostra um exemplo de robô paralelo para simular os movimentos de um barco.

4. De acordo com os graus de liberdade – para que um robô possa posicionar uma ferramenta no espaço, ele precisa de 6 GdL (Graus de Liberdade), ou seja, 3 graus de liberdade para definir a posição e 3 ângulos de rotação para definir a orientação. Robôs com mais de 6 GdL são denominados redundantes e robôs com menos de 6 GdL são denominados limitados.

5. De acordo com o espaço de trabalho - classificados conforme a configuração das juntas que formam seu sistema de articulação. A Figura 1.2 ilustra as diferentes configurações.

6. De acordo com o tipo de acionamento – em geral, são utilizados servo-sistemas que podem ser motores elétricos, pneumáticos e hidráulicos.

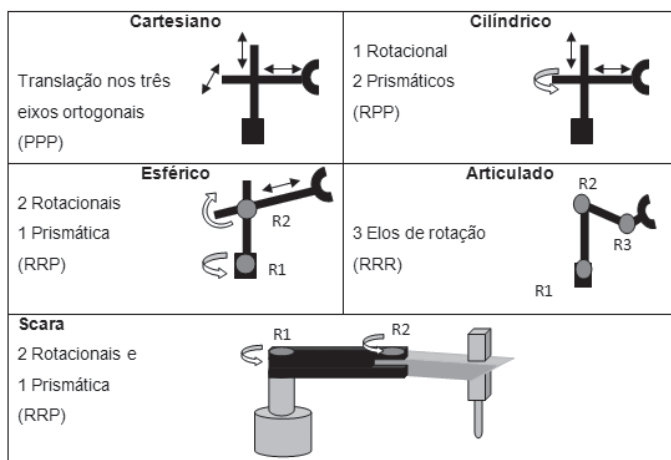
Figura 1.1 | Robô paralelo utilizado na plataforma Stewart para simulador de embarcações

Fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/38/Simulator-flight-compartment.jpeg>. Acesso em: 4 abr. 2017.

Aplicações de Robôs Industriais

Para estudarmos a questão de aplicação de robôs industriais, vamos considerar as atividades fundamentais que eles podem executar em um SPr. A Figura 1.3 ilustra um SPr onde os processos de fabricação são executados por meio de robôs.

Neste contexto, podemos observar que robôs podem executar diferentes funções. A seguir, vamos sistematizar esse conhecimento para que você possa aprender a investigar os processos de um SPr e avaliar o potencial de automação que pode ser agregado

por meio da inserção de sistemas robóticos. Há quatro classes de aplicações a serem consideradas:

Figura 1.2 | Classificação de robôs conforme o espaço de trabalho

Fonte: acervo do autor.

Exemplificando

De acordo com o espaço ou volume de trabalho, um robô pode ser classificado em função dos pontos que ele pode atingir no espaço, e isso é feito considerando-se apenas os três primeiros GdL (os demais são voltados para controlar a orientação do efetuador).

Vamos exemplificar a respeito da aplicação de cada tipo de robô em função de sua estrutura.

Cartesiano (PPP): robô de alta precisão, controle simplificado, mas seu volume de trabalho é reduzido em virtude das três ligações prismáticas perpendiculares.

Cilíndrico (RPP): robô de média precisão, controle simplificado e seu volume de trabalho é maior que o do cartesiano, em virtude da junta rotacional.

Esférico: seu volume de trabalho tem formato esférico, mas apresenta baixa precisão.

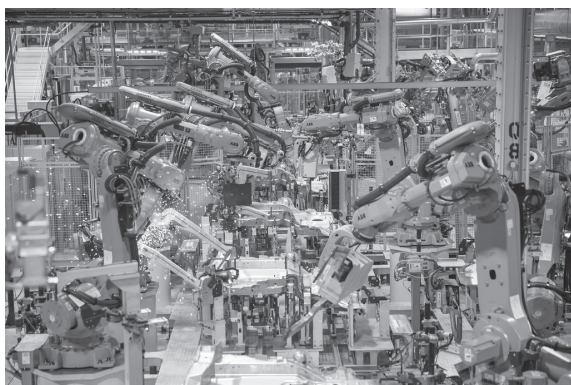
Articulado ou antropomórfico: é um dos robôs mais versáteis, semelhantes à estrutura do braço humano, mas possuem a menor precisão.

SCARA: apresenta alta precisão, alta velocidade e é muito utilizado em operações de montagem de pequenas peças.

- Robôs executando atividades de processamento

São situações em que os robôs desempenham uma atividade que faz parte do processo de fabricação de um determinado produto. Neste caso, devemos entender como o robô deve ser projetado em termos estruturais, para que seja capaz de executar a referida função.

Na próxima seção, vamos estudar em maiores detalhes quais são as partes que constituem um sistema robótico.

Figura 1.3 | Sistema de Produção utilizando robôs

Fonte: <https://c1.staticflickr.com/6/5604/15572646535_c07a9ff6f2_b.jpg>. Acesso em: 4 abr. 2017.

O robô que atua no processamento manipula uma determinada ferramenta que é usada para o processamento, definindo um ciclo de trabalho em que esta ferramenta desenvolve uma determinada trajetória, interagindo com a peça.

Como exemplos clássicos de atuação dos robôs neste cenário, temos:

- Processos de soldagem a ponto: basicamente, duas partes metálicas na forma de chapa são fundidas em pontos de contato específicos, onde ocorre a solda por meio de eletrodos;
- Processos de soldagem a arco: neste caso, a solda é efetuada de forma contínua e oferece maior resistência quando submetida a esforços, como altas pressões;
- Processos de pintura e revestimento por pulverização: consiste em utilizar uma pistola de pulverização, que segue determinada

trajetória, para revestir uma superfície que esteja recebendo essa cobertura;

- Processos de usinagem: são situações que podem envolver fresamento, furação, retífica, escovação a aço, corte por jato de água ou laser, entre outras.

- Robôs realizando atividades de distribuição

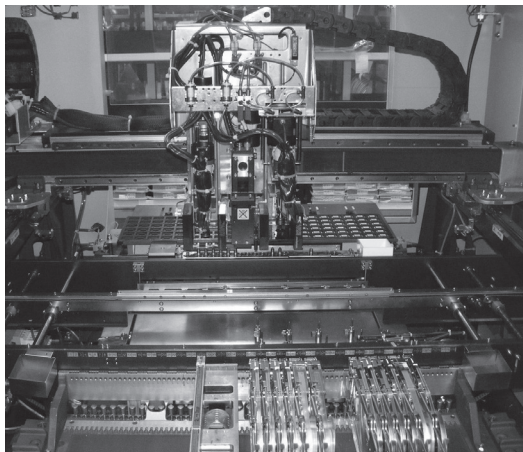
a) Realização de carga e descarga de materiais: considere que um SPr é constituído por estações de trabalho denominadas Unidades de Produção (UPs). Cada UP pode estar inserida em um diferente arranjo físico de um SPr, onde acontecem operações de fundição, injeção de plástico, forjamento, laminação, tratamento térmico, entre outras. Apesar da diversidade, as aplicações podem ser resumidas a três possíveis situações:

i. Operação de carga e descarga de uma UP – envolve a manipulação para carga e para descarga de itens a serem processados na UP.

ii. Operação de carga – há necessidade de manipulação para a carga dos itens, mas a descarga é automática, via esteira, por exemplo.

iii. Operação de descarga – inversamente ao caso anterior, há necessidade de manipulação apenas para a descarga de itens da UP, enquanto a carga é realizada de forma automática.

b) Realização da transferência de materiais: trata-se de trajetórias simples em que o robô pega a peça de um lugar e a coloca em outro. Esse tipo de operação é conhecido como *"pick-and-place"*, conforme ilustrado na Figura 1.4, onde um robô exerce essa função.

Figura 1.4 | Robô realizando operação do tipo *"pick-and-place"*

Fonte: <https://goo.gl/wguikK>. Acesso em: 4 abr. 2017.

c) Realização de transporte de materiais: envolve o transporte entre UPs que não estão próximas, implicando na utilização de robôs móveis do tipo AGV (Automated Guided Vehicles), ou, então, dependo do layout do SPr, é possível utilizar robôs manipuladores que se movem sobre trilhos e que também podem ser do tipo aéreo.

- Robôs realizando atividades de agrupamento e desagrupamento

a) Operações de montagem: são um destaque em SPrs automatizados, que envolvem altos volumes de produção com baixa flexibilidade operacional. Nesses casos, em vez de robôs, a preferência é utilizar mecanismos de grande velocidade de atuação, e que não necessitam de flexibilidade operacional, já que as operações são sempre as mesmas para a produção em massa de produtos de baixo custo, como canetas, apontadores, que são produtos que não variam em termos de dimensões e formatos. Os robôs são requeridos em situações que envolvem produtos pequenos que apresentam certas variações em suas dimensões. A paletização é um exemplo em que produtos precisam ser colocados em posições estratégicas, para se empacotar várias unidades do produto em um determinado suporte para este fim.

b) Operações de desmontagem: estão mais associadas a operações de despaletização, em que é necessário remover itens de um determinado palete realizando uma operação de "desempacotamento".

- Robôs realizando atividades de inspeção

Existem duas situações importantes:

a) São operações realizadas com o objetivo de certificar-se de que um produto está em conformidade com as especificações, e, neste caso, os robôs são utilizados para realizar operações de carga e descarga.

b) O próprio robô possui uma ferramenta que desempenha a função de uma sonda de inspeção que se movimenta, percorrendo o contorno da peça para aferição.

Reflita

O século XXI caracteriza-se por agregar valor ao conhecimento. Os robôs são elementos autônomos que se caracterizam por sua capacidade de realizar tarefas sem que haja a necessidade de intervenção humana direta.

Por sua vez, na indústria em geral, delegam-se aos robôs tarefas que são mais de caráter repetitivo e que envolvem esforço físico e precisão.

Considerando esse contexto e a questão de evolução tecnológica constante na área de robótica, como você pretende explorar o potencial de reconfiguração, inteligência artificial e aprendizagem, quando for levar em conta a inserção de sistemas robóticos para a automação de um sistema de produção?

Você acredita que o robô pode assumir atividades mais complexas nesses ambientes?

Portanto, sempre que você for avaliar a possibilidade de automação de um SPr, utilizando sistemas robóticos, faça uma reflexão inicial sobre os processos existentes. Padronize as etapas dos processos, para que você possa associar sistemas robóticos, e avalie como as diferentes classes de robôs podem adequar-se ao seu problema. Como resultado, você terá uma especificação inicial que será útil para estudar a última unidade desta disciplina.

Pesquise mais

Faça uma pesquisa sobre a história dos robôs industriais. Existem dois nomes notáveis que você deve conhecer para saber como eles contribuíram para a evolução da robótica industrial. São eles: Cyril Kemward e George Devol. Pesquisa também quem foi Unimate.

Sem medo de errar

Como o problema proposto trata de uma indústria ligada ao setor automobilístico, é fundamental que você domine um método para analisar os processos que estiverem à sua frente, devido à complexidade e variedade de itens que são fabricados.

Uma vez que não foi elencado um conjunto de processos específicos na proposta de estudo de caso, você deve preocupar-se em sistematizar o conhecimento aprendido, para obter um procedimento que se torne palpável para aplicar na solução de problemas reais, que irão surgir no dia a dia, no decorrer de sua vida profissional.

Como você fará isso?

É preciso um método para proceder. O método a ser aplicado

será o método USA, visto em aula.

1ª Fase – Compreender os processos existentes: descreva um fluxo das etapas que compõem cada processo e procure classificar cada etapa como sendo: de (i) processamento, de (ii) distribuição, de (iii) agrupamento ou desagrupamento, ou de (iv) inspeção.

2ª Fase – Simplificação dos processos: analise a possibilidade de simplificação das etapas e se estas precisam ser em sequência ou em paralelo.

3ª Fase – Automação dos processos: atue sobre os pontos fracos detectados:

(i) No processamento?

(ii) Na distribuição?

(iii) Nas atividades de agrupamento e desagrupamento?

(iv) Nas atividades de inspeção?

Uma vez determinados os pontos que precisam de atuação, considere para cada aplicação do robô qual a classe que você necessita, ou seja:

(i) Qual a autonomia que o sistema de controle deve suportar?

(ii) Precisa de robôs fixos ou móveis?

(iii) Podem ser de cadeia aberta?

(iv) Precisa de 6GdL?

(v) E quanto ao espaço de trabalho?

(vi) Que tipo de acionamento será necessário?

Após essas análises, você obterá uma especificação inicial de sistemas robóticos candidatos para a solução de seu problema.

Avançando na prática

Automação de uma fábrica de calçados

Descrição da situação-problema

A indústria de calçados no Brasil apresenta-se como forte candidata para a implantação de soluções de automação. Assista ao vídeo a seguir, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=w8ZPmVb1z2Y> (Acesso em: 28 jun. 2017), em que é mostrado como é o processo de fabricação de sapatos em muitas indústrias brasileiras. Supondo que você seja convidado para rever a etapa de colagem do cabedal com a aplicação de adesivo, uma vez

que existe muito retrabalho e várias unidades fabricadas apresentam defeitos após uso nos três primeiros meses, como você procederia para desenvolver uma solução?

Resolução da situação-problema

Uma possível solução para otimizar a etapa de colagem do cabedal pode ser encontrada aplicando-se o método USA:

1ª Fase – compreender os processos existentes. Assista ao vídeo para realizar essa etapa enquanto for necessário. No caso da colagem do cabedal, trata-se de duas etapas: processamento e montagem.

2ª Fase – simplificação dos processos. Uma vez que o cliente deseja desenvolver uma solução pontual, a questão é propor um robô que atenda de forma específica o processamento analisado na fase anterior, incluindo a montagem para diminuir o tempo de manuseio.

3ª Fase – automação. Será necessário especificar um robô que atue no processo de colagem e considerar que existe a questão de carga e descarga. Entretanto, se a solução for por um robô manipulador, pode ser projetado um sistema de carga e descarga automática, utilizando esteiras rolantes ou roletes. O robô não necessita ser móvel, podendo ser de cadeia aberta, sendo importante possuir 6GdL para que possíveis trajetórias para colagem possam ser realizadas. Um estudo detalhado do espaço de trabalho fornecerá as opções adequadas. É importante observar que a flexibilidade pode ser importante, em virtude de diferentes modelos de sapato que possam ser produzidos. Neste caso, um modelo articulado pode ser mais adequado. Por fim, como se trata de um produto leve, os motores elétricos são os mais indicados para o acionamento, garantindo assim uma boa precisão.

Faça valer a pena

1. O conceito de robótica é fundamental para podermos aplicar as técnicas de planejamento de um sistema robótico de forma adequada.
A ISO 10218 *(International Standard Organization)* propôs: "robô é um manipulador reprogramável com vários graus de liberdade com base fixa ou móvel capaz de manipular materiais, peças, ferramentas, segundo trajetórias variáveis que permitem realizar tarefas diversas". Nesse contexto, assinale a alternativa correta:

a) Um robô precisa necessariamente atuar com o mundo físico.
b) Um robô não precisa obrigatoriamente interagir com o ambiente.
c) Um robô não precisa ser necessariamente autônomo.
d) A definição de robô não evolui com o tempo.
e) A definição proposta pela RIA é mais abrangente que a da ISO 10218.

2. Os robôs industriais podem ser classificados considerando seis aspectos fundamentais: o sistema de controle; a mobilidade da base; a estrutura cinemática; os graus de liberdade; o espaço de trabalho e o tipo de acionamento. Assinale a alternativa correta a respeito da classificação segundo o espaço de trabalho de um robô cartesiano:

a) O robô cartesiano apresenta duas ligações prismáticas e uma rotacional.
b) O robô cartesiano apresenta três ligações prismáticas e uma rotacional.
c) O robô cartesiano apresenta três ligações prismáticas.
d) O robô cartesiano apresenta duas ligações rotacionais e uma prismática.
e) O robô cartesiano apresenta três ligações rotacionais.

3. As atividades de distribuição de materiais em sistemas de produção são altamente relevantes para determinar a eficiência dos processos. _______________é uma operação clássica, que consiste na tarefa que o robô realiza para retirar a peça de uma posição para colocar em outra.

a) Usinagem.
b) Eletrólise.
c) "Pick-and-place".
d) Laminação.
e) Processamento.

Seção 1.2

Sistemas robóticos

Diálogo aberto

Nesta seção, você vai entender um pouco mais sobre o que é um sistema robótico de uma forma mais detalhada, assim, você poderá começar a entender as partes que constituem esses sistemas, como são interessantes os detalhes relacionados às estruturas mecânicas, a forma como são acionadas e as noções sobre os sistemas de controle.

Neste contexto, considere que você é o responsável por identificar a solução adequada de implantação de robôs para melhorar a produtividade de um sistema de produção voltado para o setor automobilístico, tanto em termos qualitativos quanto quantitativos.

Uma vez realizada a análise macro dos processos do sistema de produção, como você procederia para determinar a especificação inicial das partes de cada um dos sistemas robóticos, para as diferentes aplicações que se mostrarem necessárias, após sua análise global? Defina um procedimento claro e objetivo que possa orientar essa análise.

Você precisa ser capaz de especificar a configuração dos componentes dos sistemas robóticos que forem necessários, em termos de especificação das garras, sistemas de acionamento e sistema de controle.

Para auxiliar você nesta tarefa, nesta seção vamos estudar aspectos voltados para a estrutura de um robô, a forma como as suas articulações ou juntas podem permitir diferentes movimentos e como elas podem ser acionadas, considerando também as diferentes estratégias de controle para garantir a sua autonomia.

Não pode faltar

Componentes de um sistema robótico

De uma forma geral, um sistema robótico que representa um robô industrial é composto por seis subsistemas (GROOVER, 2011; ROMANO, 2002):

a) **Estrutura mecânica** – representa a parte mecânica e estrutural do sistema robótico, contendo uma base que sustenta a estrutura e vários corpos rígidos, ou elos conectados por juntas, até chegar ao elemento da extremidade, denominado efetuador (Figura 1.5).

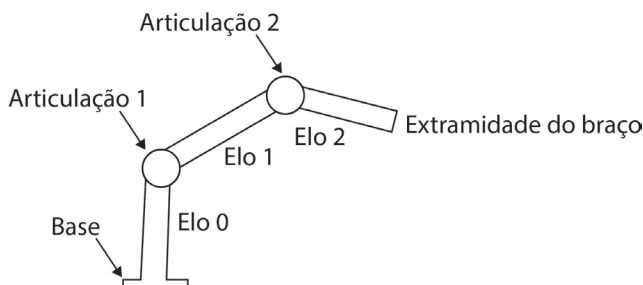
b) **Atuadores** – o movimento entre as partes de um robô é obtido por meio de servomecanismos, que podem ser elétricos, pneumáticos ou hidráulicos.

c) **Sensores** – podem ser internos ou externos. Os internos permitem inferir a posição do robô, para que esses dados sejam utilizados para fechar a malha de realimentação dos servomecanismos. Por sua vez, os sensores externos são utilizados para navegação ou interação com o meio ambiente.

d) **Unidade de controle** – em sua maioria, é formada por microcontroladores dispostos em um gabinete, que são dispositivos utilizados para controlar as ações executadas pelos atuadores, a fim de que o robô possa realizar uma determinada tarefa.

e) **Fonte de alimentação** – é a fonte de energia responsável por fornecer a potência, necessária para a movimentação do conjunto de atuadores que irá assegurar a realização de tarefas do robô.

f) **Efetuador** – é o elemento da extremidade que interage diretamente com o ambiente ou com a peça que será trabalhada com o auxílio do robô.

Figura 1.5 | Base e elos conectados por juntas em um robô

Fonte: Groover (2011, p. 174).

Uma vez que o efetuador final é o meio pelo qual um robô interage fisicamente e diretamente com o meio externo, ou com a peça a ser manipulada, é fundamental conhecer os fatores que devem ser considerados para especificar a garra que irá desempenhar essa função.

A norma ISO/DIS 14539 estabelece um conjunto de especificações que devem ser consideradas:

1. Geometria dos dedos e da palma.
2. Posicionamento dos dedos na palma.
3. Forma dos dedos e seus movimentos durante o agarramento.
4. Número e posicionamento dos atuadores.
5. Número e posicionamento dos sensores.
6. Mecanismos de transmissão da potência.
7. Mecanismo de fixação efetuador / manipulador.
8. Tipo e força de agarramento.
9. Tempo de operação (de agarramento, tempo do ciclo).
10. Tipo de sistema de controle empregado (força e/ou posição).
11. Número e material dos dedos.
12. Número de graus de liberdade dos dedos.
13. Geometria, peso, temperatura máxima e mínima, propriedades magnéticas e características da superfície do objeto a ser manipulado.

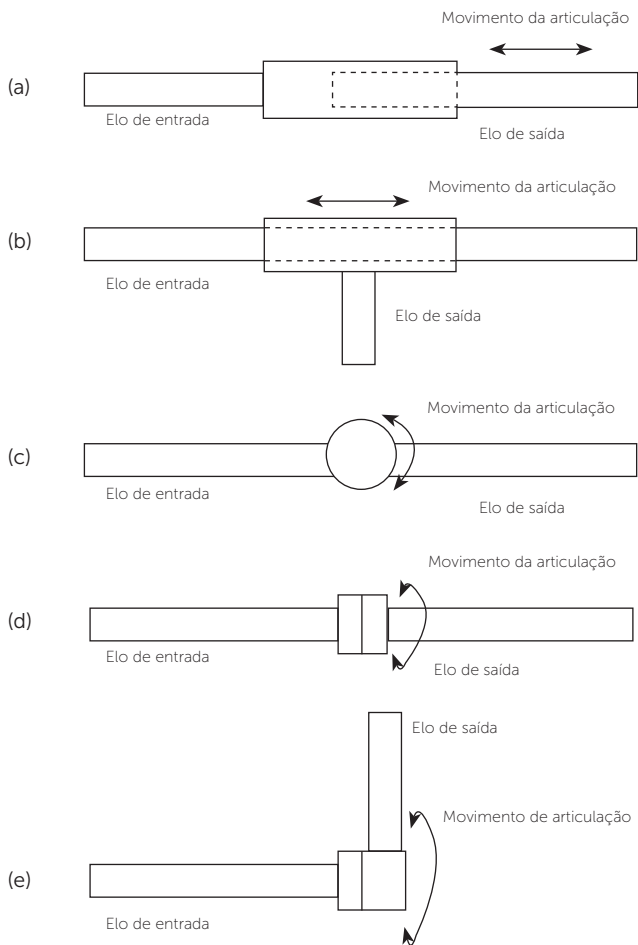
Esses fatores serão muito importantes para direcionar o projeto de efetuadores adequados, para que o robô opere de forma eficiente.

Estruturas mecânicas

Para compreender melhor o termo grau de liberdade (GdL), precisamos saber que, a exemplo do corpo humano, um robô possui elos e estes são conectados por meio de articulações. Cada articulação proporciona um GdL do movimento. Geralmente, associa-se um GdL a cada articulação, de tal forma que exista um

elo de entrada e um elo de saída que estejam conectados por meio da articulação propriamente dita. Como consequência, a articulação tem a capacidade de realizar um movimento relativo entre o elo de entrada e o elo de saída. Na Figura 1.5, estão ilustradas várias articulações e seus respectivos elos de entrada e saída. Por exemplo, a articulação 1 possui o Elo 0 de entrada e o Elo 1 de saída.

De uma forma geral, os robôs possuem articulações mecânicas que podem ser classificadas em cinco grupos (Figura 1.6):

Figura 1.6 | Classes de articulações: (a) linear, (b) ortogonal, (c) rotacional, (d) torção, (e) rotativa

Fonte: Groover (2011, p. 175).

a) **Linear – tipo L**: neste caso, os elos de entrada e saída se movimentam por translação, com eixos em paralelo, conforme ilustrado na Figura 1.6 (a).

b) **Ortogonal – tipo O**: neste caso, os elos de entrada e saída se movimentam por translação, mas os eixos estão em posição ortogonal, conforme ilustrado na Figura 1.6 (b).

c) **Rotacional – tipo R**: os elos de entrada e saída apresentam um movimento relativo de rotação, conforme ilustrado na Figura 1.6 (c).

d) **De Torção – tipo T**: os elos de entrada e saída se movimentam por rotação, mas o eixo de rotação é paralelo aos eixos dos elos, conforme ilustrado na Figura 1.6 (d).

e) **Rotativa – tipo V**: o elo de entrada possui seu eixo paralelo ao eixo de rotação, enquanto o elo de saída possui eixo perpendicular ao eixo de rotação, conforme ilustrado na Figura 1.6 (e).

Sistemas de acionamento e sensores

O acionamento das articulações dos robôs pode ser realizado a partir de três fontes diferentes de energia, o que gera a seguinte classificação (GROOVER, 2011; RIASCOS, 2010):

a) **Acionamento elétrico** – utilizam sistemas elétricos do tipo motores de passo ou servomotores, por exemplo, como atuadores para movimentar as articulações. São os mais comumente utilizados graças à sua praticidade para se integrar aos sistemas de controle programáveis. Estes são mais precisos que os demais tipos de acionamento.

   a. **Vantagens** – controle preciso, sendo a estrutura simples para manutenção e fonte de energia de custo baixo.

   b. **Desvantagens** – o torque varia quando a velocidade de rotação varia, e cargas elevadas podem danificar o motor em caso de travamento; necessitam de mecanismos para transmissão, apresentando um conjunto de acionamento de grande volume para ser acoplado ao elo.

b) **Acionamento hidráulico** – utilizam mecanismos como pistões lineares para movimentar as articulações. Se comparado com os sistemas de acionamento elétrico, verifica-se que os sistemas hidráulicos perdem em precisão, mas ganham em termos de velocidade e força para o acionamento.

   a. **Vantagens** – possui precisão média de posicionamento (menor que o elétrico e maior que o pneumático); pode manter um torque elevado por um elevado período de tempo.

b. **Desvantagens** – fonte de energia custosa e depende de manutenção para que não ocorram vazamentos; as válvulas de precisão são de custo elevado.

c) **Acionamento pneumático** – assim como os sistemas de natureza hidráulica, as articulações podem ser acionadas também por pistões pneumáticos. Isto é reservado para acionamento de robôs menores e pode ser utilizado para a manipulação de materiais simples, que envolvem atividade de manipulação de baixa complexidade.

a. **Vantagens** – capaz de operar em altas velocidades, sendo de manutenção fácil e de baixo custo; capaz de manter a força por longo período de tempo.

b. **Desvantagens** – menor precisão de posicionamento e pode vibrar durante transitórios.

De modo geral, os sistemas de acionamento devem ser planejados de acordo com um conjunto de diretrizes pré-definidas. Primeiro, depende de qual fonte de energia se tem disponível. Em segundo lugar, é comum verificar questões relacionadas ao tipo do ambiente de trabalho onde devem atuar e a precisão necessária.

De uma forma geral, os acionamentos pneumático e hidráulico são reservados para operações do tipo abre/fecha.

Os acionamentos hidráulicos possuem a vantagem de suportar elevadas pressões, entretanto, existe o risco de ocorrência de vazamentos, que podem contaminar o ambiente. Por sua vez, os acionamentos pneumáticos podem ser utilizados em ambientes onde a limpeza é um requisito essencial, uma vez que o risco de ocorrência de vazamentos não procede.

Os acionamentos baseados em atuadores elétricos apresentam a versatilidade para o controle de garras, envolvendo o controle avançado de dedos, baseado na possibilidade de controle por realimentação de parâmetros, como força e posição. Esse contexto permite a manipulação automática de peças que não são rígidas e que necessitam de controle, em tempo real, para monitorar, constantemente, a força que se aplica a uma garra para manusear adequadamente esses itens.

Para a operação desses sistemas de acionamento, o uso de sensores de posição e de velocidade, associados aos sistemas de controle por realimentação das articulações, determinam o comportamento dinâmico do robô. Nesse contexto, a velocidade

limite com que um robô pode chegar à uma determinada posição e a estabilidade de seu movimento são questões fundamentais a serem consideradas e que estão associadas à avaliação da resposta dinâmica de um manipulador em robótica.

Quando se considera que os sistemas de automação industrial precisam ser flexíveis, para se adequarem a mudanças de necessidades que implicam em mudanças de produtos que estão sendo fabricados, isso causa um impacto no projeto de soluções de automação.

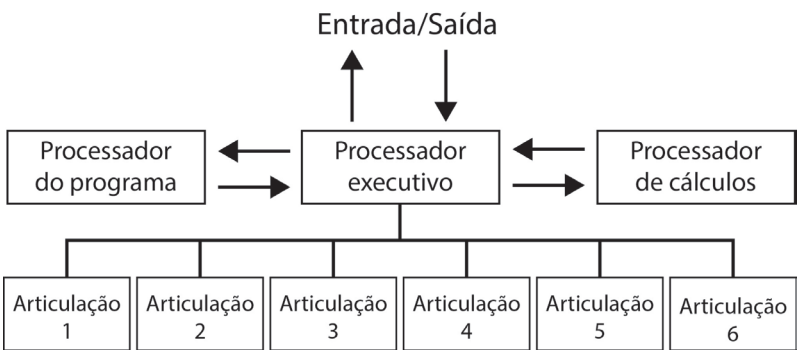
Como os sistemas robóticos fazem parte dessa realidade, existe uma questão muito importante, que é a utilização de acionamentos pneumáticos ou elétricos em atividades simples.

Se você disponibiliza de fontes de energia elétrica e pneumática, e necessita realizar atividades do tipo abre e fecha, e precisa de flexibilidade, qual seria a sua decisão?

Se o produto que você tem que manipular não fosse rígido, isso poderia mudar sua decisão?

Sistemas de controle de robôs

Conforme pode ser visto na Figura 1.7, o sistema de controle de trajetória de um robô pode ser organizado em uma estrutura hierárquica, em que cada articulação possui um controlador local atuando de forma distribuída.

Figura 1.7 | Sistema de controle hierárquico de um robô

Fonte: Groover (2011, p. 180).

Uma vez que para cada tipo de aplicação é necessário um tipo de ação de controle, os sistemas de controle de robôs podem ser classificados em quatro categorias (GROOVER, 2011; SANTOS; GORGULHO JÚNIOR, 2015):

a) **Controle de sequência limitada** – trata-se de um sistema de controle básico para movimentos mais simples, do tipo pegar e largar. As paradas costumam ser controladas por limitadores físicos para cada articulação, não sendo comum utilizar-se realimentação. Dessa forma, não há um controle preciso envolvendo servomecanismos para posicionamento das articulações. Esse tipo de controle costuma ser implementado em robôs de acionamento pneumático.

b) **Controle ponto a ponto** – é o caso de robôs programáveis, nos quais o ciclo de trabalho pode ser programado a partir da definição de uma sequência de movimentos. Além disso, é necessário considerar outros parâmetros para serem computados, como posição e velocidade associadas a cada movimento. Nesse sistema de controle, posições individuais do braço do robô são gravadas na memória, pois não existem limitações físicas para o controle da trajetória. Portanto, a cada ponto associa-se um conjunto de valores para definir as posições das articulações presentes no manipulador. É necessário um sistema de controle por realimentação para que as articulações sejam controladas individualmente, e as posições sejam alcançadas de forma satisfatória.

c) **Controle de percurso contínuo** – é uma evolução do sistema de controle anterior, em que é possível contar com uma maior capacidade de armazenamento, o que permite registrar um número bem maior de posições. O resultado é que o robô é capaz de realizar um movimento suave contínuo. Os cálculos de interpolação realizados são baseados em rotinas de interpolação linear e circular. Enquanto no sistema de controle ponto a ponto basta você definir as posições para o controle das articulações, no sistema de controle de percurso contínuo, além da posição, você precisa definir a velocidade nos três eixos de forma simultânea para ser capaz de realizar trajetórias curvilíneas ou lineares específicas. Dessa forma, o sistema de controle atua continuamente no controle da posição e velocidade do manipulador. Deve ficar claro que um sistema de controle de percurso contínuo é capaz de realizar o controle ponto a ponto.

d) **Controle inteligente** – é o caso de o robô ser capaz de interagir com o ambiente, ou seja, ele pode tomar decisões que lhe garantem autonomia para agir em situações de falha na execução de suas tarefas. Além disso, o robô deve ser capaz de estabelecer um

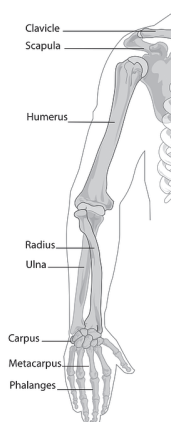
protocolo de comunicação com os operadores humanos e possuir recursos avançados de sensoriamento, como visão computacional. Nesse contexto, o robô deve possuir o recurso de programação utilizando linguagens de alto nível para inserir a lógica necessária de tomada de decisão, além da questão de dispor de recursos de autoaprendizagem, para poder interagir com as mudanças que podem ocorrer no ambiente com o qual o sistema robótico interage.

Portanto, concluímos que existe um cenário muito positivo de evolução dos recursos tecnológicos voltados para a robótica.

Exemplificando

Um dos aspectos importantes estudados nesta seção foi a respeito das classes de articulações.

Vamos exemplificar esse conceito analisando a estrutura de um braço humano, conforme ilustrado na Figura 1.8.

Figura 1.8 | Estrutura óssea de um braço humano

Fonte: <https://cdn.pixabay.com/photo/2012/04/25/01/07/diagram-41545_960_720.png>. Acesso em: 8 jun. 2017.

Quantos GdLs você percebe que existe nessa estrutura?

Quais são os tipos de articulação presentes?

Inicialmente, você deve identificar quantas articulações existem. No caso, são três articulações: ombro, cotovelo e punho:

- O ombro representa uma articulação esférica com 3GdL;

- O cotovelo representa uma articulação rotacional com 1GdL;
- O punho representa uma articulação esférica com 3GdL.

Portanto, o braço humano possui este conjunto de GdL.

Veja a matéria a seguir:

(GOEKING, Wekuska. **Adidas começará a imprimir tênis**. Veja o vídeo. Disponível em: <https://goo.gl/SBPeXy>. Acesso em: 28 jun. 2017.<http://www.infomoney.com.br/minhas-financas/consumo/noticia/6336971/adidas-comecara-imprimir-tenis-veja-video)

Este fabricante decidiu começar a "imprimir tênis". Esse é um exemplo do potencial da tecnologia que a robótica disponibilizará a você para atuar como profissional.

Assista também ao filme: DEVECZ, Miklós. **Scara robot 3D printer 2.0v**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=axZ54HZlSCY>. Acesso em: 28 jun. 2017. Você poderá constatar o que é o princípio de prototipagem rápida.

Sem medo de errar

Lembre-se que você foi escalado para avaliar um sistema de produção, voltado para o setor automobilístico, e que você já fez um levantamento definindo quais são os processos em que os robôs podem ser inseridos, além de quais funcionalidades eles terão de realizar de acordo com os processos que serão executados.

Diante dessa realidade, o próximo desafio que você precisa resolver é estabelecer um critério para especificar detalhes desses sistemas robóticos que você necessita integrar em seu sistema de produção.

Você aprendeu quais são os componentes de um sistema robótico, e isso te leva a identificar uma sistemática para a solução do problema, que pode ser dividida em três etapas:

Etapa 1 – Definição do efetuador.

Para que isso seja feito, você deve considerar que função cada robô deve executar e, depois, aplicar o conjunto de especificações

aprendido para que você defina uma especificação da garra necessária para cada robô.

Etapa 2 – Acionamento do efetuador.

Uma vez definido o efetuador, você deve avançar e definir que tipo de acionamento é o mais adequado. Para isso, devemos:

- Identificar a fonte de energia disponível.
- Identificar o ambiente de trabalho e suas exigências, impostas para não contaminar o mesmo.
- Definir o esforço necessário para manipular os itens.
- Definir a precisão envolvida.

Etapa 3 – Definição do sistema de controle.

Dependendo da complexidade exigida, você vai decidir se:

- Um sistema de controle de sequência limitada resolve? Se a resposta for não, responda o porquê.
- Aplique o mesmo procedimento considerando um sistema de controle ponto a ponto.
- Se a reposta ainda não for positiva, considere um sistema de controle de percurso contínuo.
- Se a resposta ainda permanecer negativa, então só resta você decidir por um sistema de controle inteligente.

Avançando na prática

Sistema de pintura de eletrodomésticos

Descrição da situação-problema

Considere que você foi escalado para obter uma solução de melhoria da pintura de geladeiras em um sistema de produção. Para isso, você deve propor um sistema de automação para realizar uma pintura que traga como resultados:

- Maior produtividade;
- Padrão de qualidade elevado no visual do produto pintado já acabado;

Possíveis cores para essas geladeiras: branca, preta ou bege.

Como você especificaria esse sistema robótico?

Resolução da situação-problema

Fase 1 - Definição do efetuador.

Para o caso de pintura, a ferramenta é específica e consiste em

um borrifador de tinta, para realizar a pintura e que seja adequado para o processo.

Fase 2 – Sobre o sistema de acionamento.

O ambiente exige uma câmara de pressão positiva para que nenhuma impureza possa danificar a pintura. Portanto, só cabe pneumático ou elétrico.

Fase 3 – Sobre o sistema de controle.

Para a realização da tarefa, os movimentos precisam ser contínuos, para que a pintura seja feita sem falhas. Isso exige minimamente um sistema de controle de percurso contínuo.

Com essa reflexão, você pode definir qual é a melhor solução de robôs para pintura que estejam adequados à sua realidade.

Faça valer a pena

1. Um sistema robótico possui um conjunto de partes fundamentais que o constitui. De uma forma geral, esses sistemas que representam um robô industrial são compostos por seis subsistemas. Considere um manipulador utilizado em um processo de montagem de uma linha de produção. Considerando a definição de “sistema robótico”, podemos afirmar que são componentes que constituem este robô:

a) Base e lubrificante.
b) Fonte de alimentação e efetuador.
c) Efetuador e transdutor.
d) Unidade de controle e unidade de secagem.
e) Sensores e botoeiras.

2. Uma vez que o efetuador final é o meio pelo qual um robô interage fisicamente e diretamente com o meio externo ou com a peça a ser manipulada, é fundamental conhecer o procedimento para especificar a garra que irá desempenhar essa função. Complete as lacunas da sentença a seguir:

A norma ____________ estabelece um conjunto de especificações que devem ser consideradas para o projeto de garras. Por exemplo, o ______________ e material dos dedos; e os mecanismos de ______________ da potência.

Agora, assinale a alternativa correta:

a) ISO/DIS 14539; número; transmissão.

b) IEC 3142; número; conversão.
c) IEC 61131; número; consumo.
d) ISO 43219; sistema; conversão.
e) ANSI 92; sistema; transmissão.

3. Para compreender melhor o termo grau de liberdade, precisamos saber que, a exemplo do corpo humano, um robô possui elos, e estes são conectados por meio de articulações. De uma forma geral, os robôs possuem articulações mecânicas, que podem ser classificadas em cinco grupos:

a) Linear, ortogonal, rotacional, transacional, rotativa.
b) Curvilínea, ortogonal, rotacional, torção, rotativa.
c) Linear, ortogonal, perpendicular, torção, rotativa.
d) Linear, funcional, rotacional, torção, rotativa.
e) Linear, ortogonal, rotacional, torção, rotativa.

Seção 1.3

Modelagem do comportamento

Diálogo aberto

Você se lembra de que, nesta unidade, você foi escalado para rever a produtividade de uma indústria que pertence ao setor automobilístico, onde, em um primeiro momento, você avaliou os processos que são realizados no sistema para verificar quais as atividades que podem ser realizadas mediante a atuação de robôs, não é? Na sequência, você resolveu a questão de como determinar a especificação inicial das partes de cada um dos sistemas robóticos, necessários para executar as diferentes funções presentes no sistema de produção.

Agora, chegou o momento de você definir a estrutura do sistema robótico, considerando o comportamento cinemático de um robô em um ambiente industrial. Como deve ser tratado o problema de modelagem geométrica, para que seja feita a primeira especificação de trajetória desses robôs, fazendo com que eles atendam às necessidades dos processos de produção onde serão utilizados como recursos? Suponha que você está avaliando as operações de montagem onde robôs do tipo SCARA são mais utilizados.

Nesta seção, você aprenderá o que vem a ser modelagem geométrica de um robô, e sua relação com o estudo da cinemática desses sistemas.

Você verá as duas abordagens que podem ser aplicadas para a determinação de parâmetros, envolvendo a posição dos pares elo-junta que representam os GdL presentes no sistema, isto é, cinemática direta e cinemática inversa.

Vamos concluir esta unidade?

Não pode faltar

Modelagem geométrica de um robô

Conforme visto na seção anterior, um robô manipulador é constituído por um conjunto de elos conectados por articulações ou juntas, que, por sua vez, podem ser prismáticas ou rotacionais.

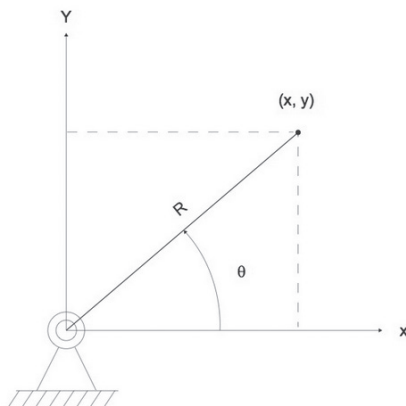
Cada par elo-junta representa um grau de liberdade presente no robô. De um modo geral, os três primeiros graus de liberdade de um sistema robótico têm a função de posicionar sua ferramenta no espaço de trabalho, enquanto os demais são responsáveis pela orientação.

Uma vez que o efetuador está fixado em seu punho, é ele que, efetivamente, realiza o trabalho e precisa ser acionado pelos diferentes pares de elo-junta, para que seu posicionamento e orientação estejam de acordo, durante cada operação que o robô realiza.

É nesse contexto que se faz necessário você conhecer as relações geométricas que o manipulador apresenta por meio de seus elos. A cinemática estuda a geometria de movimento do manipulador.

O ponto de partida, para você poder lidar com a modelagem matemática da cinemática de um manipulador, é compreender que o problema está em estabelecer uma correspondência entre o espaço das variáveis de juntas θ_i e as coordenadas do efetuador X_i .

Na Figura 1.9, é apresentado um modelo genérico de um mecanismo com um GdL.

Figura 1.9 | Exemplo de mecanismo com um GdL

Fonte: Santos, Gorgulho Júnior (2015, p. 103).

Nesse caso, tem-se uma forma direta e simples para se calcular a posição do efetuador, a partir do valor do ângulo:

$$x = R \cdot \cos\theta \qquad (1.1)$$

$$y = R \cdot \text{sen}\,\theta \qquad (1.2)$$

Por sua vez, para se calcular o valor do ângulo a partir de uma posição que se deseja para o efetuador, é necessário lidar com a função inversa, ou seja,

$$\theta = \text{tg}^{-1}\left(\frac{y}{x}\right) \quad (1.3)$$

Os cuidados necessários para interpretar o modelo matemático são:

- O manipulador não pode estar na posição vertical, pois a função não é definida neste domínio.
- Se o manipulador não estiver no primeiro ou quarto quadrantes, o valor do ângulo estará incorreto.

Reflita

Quando se lida com problemas de cinemática para determinar os ângulos necessários com o objetivo de alcançar uma determinada posição com o efetuador, existe a questão de interpretação correta dos sinais dos ângulos, para que, fisicamente, o manipulador esteja posicionado no quadrante correto.

Nesse caso, em quais quadrantes haverá o problema de interpretação dos resultados e por quê?

Leve em consideração, também, que, se a posição for $x = 0$, então ocorre um problema desse valor não pertencer ao domínio da função inversa

$$\text{tg}^{-1}\frac{y}{x}$$

Considere, por exemplo, um mecanismo com 1 GdL.

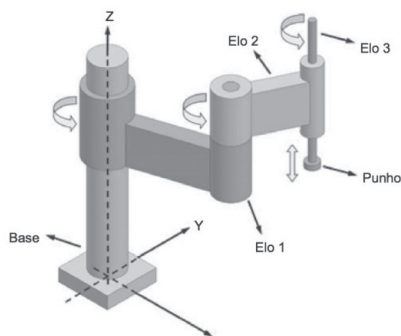
Faça uma reflexão sobre esse problema. Como você programaria um algoritmo simples para resolver essas questões?

Na seção anterior, você viu o exemplo de aplicação de um robô SCARA e como ele é e será uma ferramenta útil para o desenvolvimento de novas tecnologias.

Neste contexto, será utilizado esse modelo de robô como referencial para o desenvolvimento dos estudos desta seção, para que você possa ter uma visão realista sobre o estudo de robótica (SANTOS; GORGULHO JÚNIOR, 2015).

A Figura 1.10 apresenta a estrutura básica de um robô SCARA. Verifique a estrutura desse sistema e perceba que este robô possui 4 GdL:

- 3 para posicionamento.
- 1 para orientação da garra.

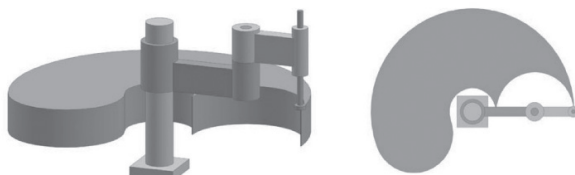
Figura 1.10 | Estrutura básica de um robô SCARA

Fonte: Santos, Gorgulho Júnior (2015, p. 109).

Volume de trabalho

Quando se estuda a geometria e, portanto, a cinemática de um sistema robótico, um aspecto importante é compreender o que vem a ser o volume de trabalho desse sistema.

Define-se como volume de trabalho de um robô o conjunto de todos os pontos do espaço tridimensional que o seu efetuador pode percorrer.

No caso de um robô SCARA, o volume de trabalho resultante é ilustrado na Figura 1.11.

Figura 1.11 | Volume de trabalho de um robô SCARA

Fonte: adaptada de Santos e Gorgulho Júnior (2015, p. 110).

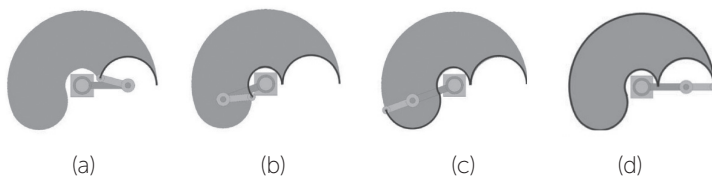
Conforme descrito na Figura 1.10, suponha a condição inicial do braço como plenamente esticado. Na sequência, têm-se:

a) Avanço do Elo 2 no sentido anti-horário em cerca de 170° (Figura 1.12 (a)).

b) Avanço do Elo 1 até 200°, mantendo o Elo 2 em sua posição final (Figura 1.12 (b)).

c) Redução do Elo 2 até 0°, mantendo o Elo 1 em sua posição final (Figura 1.12 (c)).

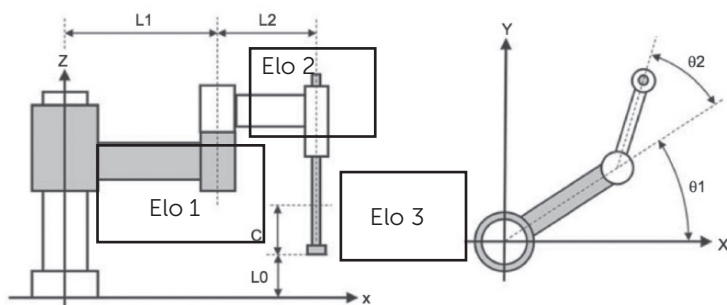
d) Redução do Elo 1 até 0°, mantendo o Elo 2 em sua posição final (Figura 1.12 (d)).

Figura 1.12 | Movimentos dos Elos 1 e 2

Fonte adaptada de Santos, Gorgulho Júnior (2015, p. 111-112).

Se for variada a posição do Elo 3, ocorre a formação de um novo plano conforme o anteriormente traçado. Juntando-se os planos, origina-se o volume mostrado na Figura 1.11.

Para uma representação matemática desse robô, considere inicialmente a Figura 1.13. Os parâmetros associados à representação gráfica da Figura 1.13 são:

- $L0$: Altura mínima do efetuador.
- $L1$: Comprimento do elo 1 (Elo1).
- $L2$: Comprimento do elo 2 (Elo2).
- C : Curso do elo 3 (Elo3).
- θ_1 : Ângulo do Elo1 a partir do eixo X.
- θ_2 : Ângulo do Elo2 a partir do Elo1.

Figura 1.13 | Parâmetro e variáveis para descrição do robô SCARA

Fonte adaptada de: Santos, Gorgulho Júnior (2015, p. 112).

Por meio da geometria dos elos de um sistema robótico, você pode equacionar a posição do efetuador, considerando os ângulos de cada uma das juntas em questão, ou então, você pode determinar quais devem ser esses ângulos de juntas, para que o efetuador esteja em uma determinada posição e orientação. Esses são os enfoques possíveis para você estudar a cinemática, isto é, a cinemática direta ou inversa, respectivamente.

Notação de Denavit-Hartenberg

A representação de Denavit-Hartemberg (D-H) tem como objetivo introduzir um método matricial para modelar matematicamente a translação e rotação produzidas pelos pares de elo-junta, que resulta na obtenção de uma matriz de transformação homogênea 4x4. Esse método é constituído de três etapas (RIASCOS, 2010):

1. Fixe um sistema de coordenadas local em cada elemento, que deve seguir as seguintes observações:

a) Os elementos devem ser numerados progressivamente de 0 (base fixa) até (efetuador).

b) Numere as juntas a partir de 1 no 1º GdL.

c) Fixe o eixo Z de rotação se a junta $(i+1)$ for articulada, e de deslocamento se a junta $(i+1)$ for prismática.

d) Fixe o sistema de eixos de coordenadas 0 da base ao longo do eixo Z_0. Para os demais sistemas de coordenadas, considere:

i. Coloque no ponto de intersecção entre Z e Z_{i-1}, se houver.

ii. Se Z_i e Z_{i-1} forem paralelos, então a origem $(i-1)$ fica na junta i.

e) Fixe os eixos X_i e Y_i. Na base 0, eles podem ser fixados livremente. Para os demais sistemas de coordenadas, se Z_i e Z_{i-1} forem perpendiculares, então $\overrightarrow{X_i} = \overrightarrow{Z_{i-1}} \Lambda \overrightarrow{Z_i}$.

f) O eixo $\overrightarrow{Y_i} = \overrightarrow{Z_i} \Lambda \overrightarrow{X_i}$.

g) No efetuador, Z_n deve coincidir com Z_{n-1} e X_n deve ser perpendicular a Z_n e Z_{n-1}.

2. Utilize cada sistema de coordenadas local para definir os parâmetros de cada elemento.

3. Os parâmetros devem ser substituídos na matriz homogênea genérica, para se obter uma matriz específica para cada elemento.

A vantagem desse método é que resolve de forma integrada a questão da posição e da orientação, além de, também, o fato de poder resolver o problema a partir de sucessivas multiplicações de matrizes, de acordo com cada transformação. Mas, como você pode perceber, o procedimento exige um esforço de processamento, que é sua principal desvantagem. Por causa disso, existem outras propostas, como a utilização de quaternions, por exemplo, além de outras abordagens matemáticas (RIASCOS, 2010).

Vamos retomar a questão dos conceitos de cinemática direta ou inversa de uma forma aplicada, considerando como estudo de caso o robô SCARA da Figura 1.13.

Cinemática Direta

Conforme citado anteriormente, cinemática direta está relacionada ao equacionamento que permite encontrar o posicionamento e orientação do efetuador, a partir do momento em que são dados os ângulos de juntas e a dimensão dos elos.

Existem diferentes abordagens para efetuar esses cálculos. Entretanto, o foco dessa disciplina não é aprofundar essa questão de cálculo matemático. É importante você saber que, na grande maioria das aplicações industriais, as tarefas que um robô deve realizar, ou seja, o cumprimento de uma determinada trajetória no espaço, é programado por meio de um método de aprendizagem, o que facilita demasiadamente esta tarefa. O processo é realizado de forma sequencial e progressiva, em que cada conjunto elo-junta é articulado desde a base até chegar no elemento final, que é

o efetuador. Portanto, o objetivo é você ter ciência de que existem ferramentas matemáticas que permitem esses cálculos.

Para o robô SCARA que é estudado nesta seção (Figura 1.13), de acordo com Santos e Gorgulho Júnior (2015), é possível calcular a posição (x, y, z) do efetuador, quando são informadas as variáveis de junta θ_1, θ_2 e C, resultando no seguinte equacionamento:

$$x = L1 \cdot \cos\theta_1 + L2(\cos\theta_1 \cdot \cos\theta_2 - \text{sen}\theta_1 \cdot \text{sen}\theta_2) \quad (1.4)$$

$$y = L1 \cdot \text{sen}\theta_1 + L2(\text{sen}\theta_1 \cdot \cos\theta_2 + \cos\theta_1 \cdot \text{sen}\theta_2) \quad (1.5)$$

$$z = C + L0 \quad (1.6)$$

Cinemática Inversa

Em robótica, a questão relevante para ser equacionada é como calcular e quais devem ser os valores dos ângulos de cada uma das juntas, para que o efetuador ocupe uma determinada posição e orientação, considerando as dimensões dos elos que constituem o sistema robótico. Conforme citado anteriormente, essa é a abordagem baseada no conceito de cinemática inversa.

Analogamente, como foi explicado para o caso de cinemática direta, será feito um estudo focado para o robô SCARA, da Figura 1.13. Considera-se o modelo matemático proposto em Santos e Gorgulho Júnior (2015), que apresenta o conjunto de equações a seguir para o cálculo dos valores das variáveis de junta θ_1, θ_2 e C, a partir da posição (x, y, z) desejada para o efetuador:

$$\theta_1 = \cos^{-1}\left(\frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}}\right) - \cos^{-1}\left(\frac{x^2 + y^2 + L1^2 + L2^2}{2 \cdot L1 \cdot \sqrt{x^2 + y^2}}\right) \quad (1.7)$$

$$\theta_2 = 180° - \cos^{-1}\left(\frac{L1^2 + L2^2 - (x^2 + y^2)}{2 \cdot L1 \cdot L2}\right) \quad (1.8)$$

$$C = z - L0 \quad (1.9)$$

Exemplificando

A partir das equações (1.3) a (1.5), calcula-se diretamente a posição (x, y, z).

Entretanto, para o cálculo usando cinemática inversa, os limites que o efetuador pode atingir são dados por $L1+L2$ (limite externo) e por $|L1-L2|$ (limite interno). A Figura 1.14 exemplifica um algoritmo para verificar se as coordenadas calculadas são válidas (SANTOS; GORGULHO JÚNIOR, 2015).

Figura 1.14 | Algoritmo para validação das coordenadas (cinemática inversa)

```
Ler x e y
R = Raiz(x2+y2)
Interno = L1–L2
Externo = L1+L2
Se R > Externo então
        Mensagem "Coordenada além do limite externo"
        Fim
Fim-Se
Se R < Intemo então
        Mensagem "Coordenada dentro do limite interno"
        Fim
Fim-Se
Se R >= Interno e R =< Externo então
                Cálculos de cinemática inversa (obter θ1 e θ2)
                Se θ1 e θ2 estão dentro dos limites então
                Mensagem "Coordenada acessível"
        Senão
                Mensagem "Coordenada não acessível"
        Fim-se
        Fim
Fim-Se
```

Fonte: Santos e Gorgulho Júnior (2015, p. 117)

Dessa forma, encerramos esta seção com uma visão geral a respeito de como se trabalha com modelagem geométrica de um robô, para que seja possível avaliar o seu comportamento em termos de trajetória que o manipulador deve realizar para cumprir suas tarefas.

O seu desafio é resolver o problema de como gerar uma especificação inicial das trajetórias que os robôs devem realizar, para atender às necessidades de produção dos processos que são executados na indústria do setor automobilístico investigada.

Como os robôs do tipo SCARA são muito utilizados em operações de montagem na indústria, considere os estudos realizados nesta seção e observe que o procedimento que você deve realizar é:

1. Estudo do volume de trabalho.

- Faça um esboço do modelo de estrutura do robô SCARA que seja adequado para o ambiente, obtendo os parâmetros básicos como $L1$, $L2$, $L0$ e C, conforme a Figura 1.13.

- Suponha a condição inicial do braço como plenamente esticado. Na sequência, considere:

    - Avanço do Elo 2 no sentido anti-horário (Figura 1.12 (a));

    - Avanço do Elo 1, mantendo o Elo 2 em sua posição final (Figura 1.12 (b));

    - Redução do Elo 2 até 0°, mantendo o Elo 1 em sua posição final (Figura 1.12 (c));

    - Redução do Elo 1 até 0°, mantendo o Elo 2 em sua posição final (Figura 1.12 (d)).

- Faça um esboço do volume de trabalho a partir dessas etapas.

2. Para testar algumas situações desejáveis de serem investigadas, considere as possíveis situações de aplicação da cinemática direta, considerando as equações (1.4) a (1.6), substituindo os ângulos de interesse nas correspondentes expressões para se obter a posição final do efetuador.

3. Por fim, utilize as equações (1.6) à (1.8) para verificar a possibilidade de problemas quanto à alcançabilidade do efetuador. Nesse sentido, não se esqueça de utilizar as equações citadas em conjunto com o algoritmo exposto na Figura 1.14.

Dessa forma, você consegue obter uma visão mais clara a respeito do volume de trabalho do robô em estudo, para a solução do problema de automação proposta.

Não esqueça a observação de que para situações envolvendo a indústria, você aprenderá a utilizar recursos computacionais para realizar esses processos de definição de trajetórias, utilizando o recurso de aprendizagem que será visto na próxima unidade.

Avançando na prática

Aplicando cinemática direta

Descrição da situação-problema

Considere que você vai utilizar um robô SCARA em um processo de montagem. Este processo existe em uma determinada célula de manufatura. Você precisa avaliar qual a posição que o efetuador alcança quando os ângulos de suas juntas são $\theta_1 = 30°$ e $\theta_2 = 60°$. Para realizar os cálculos, os parâmetros do robô SCARA são:

- $L1 = 7$ (unidades de comprimento)
- $L2 = 7$ (unidades de comprimento)

Calcule no plano (x, y) qual seria a posição do efetuador.

Resolução da situação-problema

Para um robô SCARA, vimos que:

$$x = L1 \cdot \cos\theta_1 + L2 \cdot (\cos\theta_1 \cdot \cos\theta_2 - \text{sen}\theta_1 \cdot \text{sen}\theta_2)$$

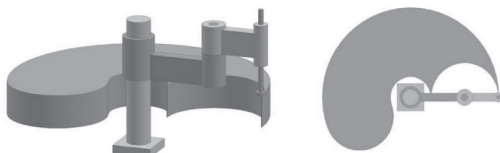
$$x = 7 \cdot \cos 30° + 7(\cos 30° \cdot \cos 60° - \text{sen}\, 30° \cdot \text{sen}\, 60°)$$
$$x = 7 \cdot 0{,}866 + 7(0{,}866 \cdot 0{,}5 - 0{,}5 \cdot 0{,}866)$$
$$x = 6{,}062$$

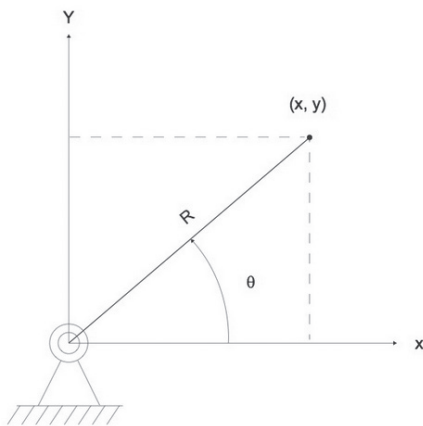
$$y = L1 \cdot \text{sen}\,\theta_1 + L2(\text{sen}\,\theta_1 \cdot \cos\theta_2 + \cos\theta_1 \cdot \text{sen}\,\theta_2)$$

$$y = L1 \cdot \text{sen}\,\theta_1 + L2(\text{sen}\,\theta_1 \cdot \cos\theta_2 + \cos\theta_1 \cdot \text{sen}\,\theta_2)$$
$$y = 7 \cdot \text{sen}\, 30° + 7(\text{sen}\, 30° \cdot \cos 60° + \cos 30° \cdot \text{sen}\, 60°)$$
$$y = 7 \cdot 0{,}5 + 7(0{,}5 \cdot 0{,}5 + 0{,}866 \cdot 0{,}866)$$
$$y = 3{,}5 + 7(0{,}25 + 0{,}749)$$
$$y = 10{,}499$$

Portanto, o efetuador estará na posição $(6{,}062; 10{,}499)$

Faça valer a pena

1. Considere a figura apresentada a seguir. Trata-se de um robô SCARA.

Você pode afirmar que esta figura representa:
a) Somente as partes de um manipulador.
b) Robô usinando um bloco.
c) O volume de trabalho de um robô SCARA.
d) A zona de manutenção do robô.
e) A troca de ferramentas automática.

2. Se for considerado um mecanismo simples de 1GdL, a cinemática pode atuar na questão de calcular a posição do efetuador a partir do valor do ângulo. Considere a figura a seguir:

Fonte: Santos, Gorgulho Júnior (2015, p. 103).

Assinale a alternativa correta.

a) $x = R + \cos\theta$
b) $y = R - \text{sen}\,\theta$
c) $x = y^2$
d) $R = x^2 + y^2$
e) $\theta = \text{tg}^{-1}\left(\frac{y}{x}\right)$

3. A cinemática estuda a geometria de movimento do manipulador, abordando a sua posição e orientação. Nesse contexto, assinale a alternativa correta.

a) O problema está em estabelecer uma correspondência entre o espaço das variáveis de juntas θ_i e as coordenadas do efetuador X_i .
b) O espaço das variáveis de juntas θ_i não descreve a cinemática do manipulador.
c) As coordenadas do efetuador X_i são importantes para definir a dinâmica e não a cinemática de um manipulador.
d) O efetuador não é responsável pela realização do trabalho de um robô.
e) As relações geométricas de um manipulador não estão associadas com seus elos.

Referências

GROOVER, M. P. **Automação industrial e sistemas de manufatura.** São Paulo: Pearson, 2011.

NOGUEIRA, Salvador. **Legislação robótica**. Disponível em: <https://goo.gl/oquK6a>. Acesso em 28 jun. 2017.

RIASCOS, L. A. M. **Fundamentos de robótica manipuladores e robôs móveis.** São Paulo: Plêiade, 2010.

ROMANO, V. F. **Robótica industrial**: Aplicação na Indústria de Manufatura e de Processos, São Paulo: Edgard Blucher, 2002.

SANTOS, W. E.; GORGULHO JÚNIOR, J. H. C. **Robótica Industrial**: Aplicação Na Indústria de Manufatura e de Processos, São Paulo: Érica, 2015.

Métodos de programação de robôs industriais

Convite ao estudo

Agora que você já sabe o que é um sistema robótico e como ele pode ser utilizado em um sistema de produção, nesta unidade você contruirá novos conhecimentos a respeito de como programar um robô.

Na Unidade 1 você foi capacitado para rever a produtividade de uma indústria, que pertence ao setor automobilístico, a partir do uso de robôs que possuem alta flexibilidade, permitindo que sejam empregados para diversas atividades. Você colocou em prática um método para análise macro do sistema, para avaliar a possibilidade de automação utilizando robôs. Na sequência, usou métodos mais específicos para avaliar a configuração básica da estrutura de um robô para interagir com o sistema de produção e, por fim, você avaliou como pode considerar a modelagem geométrica de um robô para atuar em um determinado volume de trabalho.

Nesta Unidade, você cuidará da questão de desenvolvimento da programação de robôs para que executem as atividades de interação com o sistema de produção, de forma a cumprir o planejamento de automação desse sistema, utilizando sistemas robóticos.

Neste contexto, você vai se deparar com a questão de como definir um modo adequado para desenvolver os programas de controle desses robôs e, para isso, terá que avaliar a questão dos modos de programação que sejam adequados para a realidade do sistema de produção em estudo, definir a linguagem de programação adequada e o desenvolvimento do programa em si. Portanto, em primeiro lugar, como você deverá proceder para desenvolver o programa de um sistema robótico? Existe uma linguagem padrão que deve ser utilizada? Existe uma norma que estabelece a linguagem mais apropriada?

Em segundo lugar, você deve resolver o seguinte problema: o programa será construído com o auxílio de um simulador? E a questão da codificação na linguagem textual que foi definida para se desenvolver o programa? Como isto será conciliado?

Em terceiro lugar, como deve ser resolvida a questão de inserção de um sistema robótico que precisa se comunicar com outros equipamentos? E para realizar a operação de paletização necessária para as montagens previstas na linha de produção?

De forma progressiva, você continuará desenvolvendo novos conhecimentos para intensificar a automação de um sistema de produção por meio de sistemas robóticos.

Então, vamos continuar?

Seção 2.1

Programação e simulação

Diálogo aberto

Esta seção é o início de uma nova unidade que foca a questão de métodos de programação de robôs.

Se você refletir a respeito do que aprendeu até agora sobre sistemas robóticos, perceberá que precisa colocar em prática o seu conhecimento de como programar as tarefas que deseja que um determinado robô realize.

Se um robô é um sistema autônomo, então ele precisa ser programado para agir com autonomia para solucionar problemas previstos. Estabelecer um programa para ser executado por um robô-suprimir. Nada mais é que programar seu sistema de controle para que um determinado comportamento desejado seja executado. Isso significa que todo o sistema de controle, capaz de atuar sobre cada um dos pares de elo-junta presentes na estrutura mecânica do robô, deve ser controlado por meio de programas apropriados.

O fato desses controladores de juntas serem programáveis é uma característica crucial que garante a flexibilidade funcional e operacional que se deseja para esses dispositivos.

Uma vez que você esteja responsável por automatizar uma indústria utilizando robôs, a fase atual é de definição de uma sistemática para que certos desafios sejam vencidos: chegou o momento de progredir para a próxima etapa de seu projeto, que é cuidar da programação de um sistema robótico.

Em primeiro lugar, como você deverá proceder para desenvolver o programa de um sistema robótico? Existe uma linguagem padrão que deve ser utilizada? Existe uma norma que estabelece a linguagem mais apropriada? Para que servem os simuladores?

Para te auxiliar nas respostas desses desafios, nesta seção será apresentado o conceito de programação on-line e off-line, além de como tem evoluído a questão das linguagens de programação de robôs e a importância de conhecer um ambiente de simulação, como instrumento para auxiliar os programadores.

Bom trabalho!

Não pode faltar

A resolução de um problema que se baseia em um procedimento especificado passo a passo e com um número finito de instruções é chamada de algoritmo. Assim como a computação, a robótica preocupa-se com as questões de análise e desenvolvimento de algoritmos. Isso porque os robôs estão programados para uma série de tarefas, que podem envolver navegação, manipulação e aprendizagem, e que necessitam da aplicação de algoritmos (MATARIĆ, 2014)

A visão que você deve ter é a de que os algoritmos são as estruturas nas quais se fundamentam os programas que são desenvolvidos para as máquinas.

Já vimos na Seção 1.2 que um robô possui um sistema de controle, e que a arquitetura deste sistema não precisa ser centralizada, ou melhor, que seria um grande risco se fosse centralizada. Isso se justifica pela possibilidade de uma falha ocorrer em seu único processador, situação onde todo o robô deixaria de funcionar.

Por sua vez, o controle de robôs pode ser realizado por meio de seu hardware ou por meio de programação. Utilizar hardware justifica-se quando são aplicações rápidas e especializadas, conforme vimos o caso de manipuladores em linhas de produção de alta velocidade. Porém, quanto mais complexo for o controlador, torna-se mais adequado utilizar programação (MATARIĆ, 2014).

Um programa de um robô pode ser visto como um percurso no espaço a ser seguido pelo manipulador e, que engloba também demais ações periféricas, como: movimentação e acionamento de sua garra, tomada de decisões lógicas e interações com outras máquinas para sincronização em ambientes automatizados.

Atualmente, os robôs industriais possuem computadores digitais embarcados para desempenhar as funções de controle, além de unidades de memória. De uma forma geral, podemos afirmar que a programação pode ser efetuada de duas formas:

- Programação on-line – geralmente, faz uso de métodos de programação por aprendizagem.

- Programação off-line – neste caso, faz-se uso de linguagens de programação voltadas para a programação específica de robôs. É o caso de linguagens como VAL, AML e MCL. Como instrumento para o desenvolvimento de programas, nessas linguagens, tem-se a

disponibilidade de simuladores.

Houve um grande avanço na programação dos robôs industriais e, atualmente, estes dispositivos podem ser programados por meio de comando vocal, sistemas gráficos interativos, pela geração de planos de ação, além de realidade virtual, entre outras tecnologias.

Programação off-line

Observa-se que a tendência é realizar a programação off-line de robôs industriais.

Em situações em que os robôs são aplicados para automação programável, isto é, processos de fabricação em lotes de produção, o tempo de fabricação de cada item que está sendo processado é fundamental para manter a competitividade de uma indústria. Se for necessário interromper a produção para a programação de um robô, haverá perda de tempo, que é capaz de afetar o índice de produtividade esperado. Por essa razão, em sistema de produção em que está presente esse tipo de automação e forma de produção, a utilização de programação off-line é fortemente desejável.

Outro aspecto importante é o de que quanto maior a complexidade do conjunto de tarefas que um robô necessita realizar, mais vantajoso será utilizar o conceito de programação off-line. De uma forma sistemática, é possível listar o seguinte conjunto de aspectos positivos associados à programação off-line:

- Permite que a programação do robô seja feita pelo programador em um terminal de computador distante do robô.
- O download do programa pode ser realizado para o sistema de controle do robô sem que haja a necessidade de interromper o processo que esteja sendo executado no sistema de produção.
- Não existe a necessidade de se localizar fisicamente as posições no volume de trabalho para o robô.
- É necessário existir a disponibilidade de algum tipo de recurso de simulação gráfica para que seja possível construir um modelo tridimensional de operação do robô em seu ambiente de trabalho.
- O ambiente a ser modelado envolve a representação de uma célula de manufatura em que:
    - o Existe o robô como responsável pelas operações compatíveis a um sistema robótico, conforme visto na Unidade 1.
    - o Podem existir máquinas-ferramenta para realizarem os

processos de fabricação pertinentes.

o Pode-se possuir transportadores do tipo esteiras rolantes, ou até mesmo veículos autônomos de transporte (AGVs).

- O simulador é capaz de representar uma animação computadorizada do processo de fabricação sendo executada e como o robô desenvolve as suas atividades durante a evolução do mesmo.

- Depois de o programa ter sido construído com o auxílio do simulador, o mesmo pode ser validado e convertido para uma linguagem textual adequada, conforme o tipo de robô que estiver sendo utilizado.

É importante salientar que podem ocorrer algumas diferenças pontuais entre aquilo que foi simulado e a realidade do ambiente da célula existente no sistema de produção que existe fisicamente. Neste caso, é necessário realizar a calibração da célula, que consiste em calibrar o modelo computacional, inserindo-se os dados de localização reais em vez dos estimados contidos originalmente no simulador.

Resolução de controle, precisão e repetibilidade de robôs

São três os parâmetros importantes característicos dos robôs. Vamos assimilar cada um deles (GROOVER, 2011):

- Resolução de controle – é a capacidade do sistema de posicionamento de um robô segmentar o espaço que pode ser visitado, a partir do movimento do conjunto elo-junta, em um número finito de intervalos regulares, por meio da ação do controlador. Estes pontos para os quais a articulação pode ser movida pelo controlador são chamados pontos endereçáveis (GROOVER, 2011). Essa capacidade depende de dois fatores:

  o Limitações de natureza mecânica em virtude da falta de rigidez causada por folgas nas engrenagens, deformação no elo, etc. Esses erros mecânicos podem ser caracterizados por uma distribuição normal com média μ e desvio padrão σ. Portanto, há uma limitação mecânica em segmentar o curso de uma articulação com seu elo em pontos endereçáveis, e esse limite será identificado como RC_1 .

o Capacidade de armazenamento de bits do controlador para uma articulação. Se a limitação do número de bits for n para uma determinada articulação, então o número de pontos endereçáveis será 2^n. Sendo D o deslocamento linear ou angular da articulação com o elo, então a resolução de controle que dá a medida da distância entre pontos endereçáveis adjacentes será dada por $RC_2 = \frac{D}{2^n - 1}$.

o Observa-se que é desejável que o fator limitante seja sempre representado pelas características mecânicas. Entretanto, a resolução de cada mecanismo envolvendo uma articulação com seu elo será $RC = \max(RC_1, RC_2)$.

- Repetibilidade – pode ser entendida como a medida da capacidade de um robô posicionar a extremidade do efetuador em um ponto previamente ensinado, presente em seu volume de trabalho. Partindo-se da mesma situação inicial, espera-se que o robô seja capaz de voltar à posição desejada com um erro determinado. Para um mecanismo de articulação e elo únicos, teremos a expressão $\mathrm{Re} = \pm 3\sigma$ em que σ é o desvio padrão do erro visto anteriormente.

- Precisão – é a capacidade do robô posicionar a extremidade do seu efetuador em uma determinada posição de seu volume de trabalho. Para um único eixo, teremos a expressão $Pe = \frac{RC}{2} + 3\sigma$

Programação on-line

Neste tipo de programação, a tarefa é ensinada ao robô por meio do operador, que move o manipulador através do ciclo de movimento que é necessário para que a tarefa seja cumprida. De forma simultânea, o programa é gerado e armazenado no controlador do robô.

Para realizar este tipo de programação existem dois métodos (GROOVER, 2011):

- Ensinamento acionado – é utilizando no caso do robô possuir um sistema de controle ponto a ponto. Neste caso, o operador necessita de um painel de controle do tipo *teach pendant*, conforme ilustrado na Figura 2.1. Utilizando as chaves articuladas do tipo joystick, o operador dirige o braço para as posições desejadas e grava na memória do controlador;

- Ensinamento manual – é utilizado no caso de controle de

percurso contínuo, como para efetuar uma pulverização de pintura sobre uma superfície. Esse método exige que o operador tenha contado direto com o processo e esteja manipulando diretamente o efetuador. Por este motivo, existe o recurso de se utilizar um dispositivo de programação especial, que substitui o robô em si durante o processo de ensinamento.

Figura 2.1 | Um exemplo de painel de controle manual do tipo teach pendant

Fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/c/c6/Teach_pendant.JPG>. Acesso em: 12 maio 2017.

Este método de programação vem sendo progressivamente substituído pelo método de programação off-line, em virtude do avanço dos recursos computacionais que facilitam o acesso a simuladores e, por outro lado, porque não é necessário utilizar o próprio manipulador, comprometendo a linha de produção.

Outro aspecto muito importante é que o operador que está programando o robô é obrigado a ter um contato direto com o mesmo e, também, precisa ter um contato direto com o processo. Isto pode comprometer a segurança do indivíduo, por questões de possíveis falhas na máquina, e, também, em virtude da possibilidade do processo em si poder ser agressivo à saúde do ser humano.

Pesquise mais

O conceito de Internet das Coisas (IoT) está cada vez mais presente em todas as tecnologias. Assista ao vídeo a seguir em que Craig Wigginton (Deloitte) é entrevistado na Futurecom 2015, disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=pcxjB7AxuZI>. Acesso em: 26 jun. 2017.

Pesquise, agora, a questão de robôs e sua conexão com o conceito IoT. Ainda que robôs possam ser uma alternativa importante, porque trazem uma série de recursos, por outro lado, deixam a desejar em termos de segurança. Leia mais no link a seguir, disponível em:

<http://idgnow.com.br/ti-corporativa/2017/04/07/robos-trazem-uma-serie-de-recursos-mas-eles-nao-vem-com-muita-seguranca/>. Acesso em: 26 jun. 2017.

Linguagens de Programação

Determinados equipamentos industriais, que são programáveis, passaram por um processo de padronização das linguagens. Por exemplo, no caso dos Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) houve uma padronização imposta pela IEC (International Electrotechnical Commission), que definiu a norma IEC 61131-3 para tratar exclusivamente da definição de linguagens de programação desses controladores. Um exemplo de linguagem exaustivamente conhecida na área de programação de CLPs é a linguagem Ladder. Por sua vez, no caso das máquinas de comando numérico computadorizado (CNC), houve também uma convergência e predominância, da linguagem de máquina conhecida como Código G.

A grande vantagem desse tipo de conduta é que uma mesma linguagem pode ser utilizada em equipamentos de diferentes fabricantes, desaparecendo essa questão de linguagem proprietária e facilitando o dia a dia do cliente - usuário de diferentes tecnologias.

No caso dos robôs o mesmo não aconteceu, como você pode observar a partir da listagem a seguir (SANTOS; GORGULHO, 2015): ACL – Advanced Command Language – 1982; AL – Assembly Language – 1974; AML – A Manufacturing Language– 1972; AUTOPASS – AUTOmated Parts ASsembly System – 1972; IRL – Intuitive Robot Language – 1978; LM – Language de Manipulation – 1979; LPR – Language de Programmation de Robot – 1978; MAL – Machine Control Language – 1979; MCL – Machine Control Language – 1979; PLAW – Programming Language of ArcWelding – 1980; RAPT – Robot APT – 1978; ROBEX – ROBot EXapt – 1978;

ROL – RObot Language – 1979; SERF – Sankyo Easy Robot Formula – 1977; SIGLA – SIGma LAnguage – 1974; VAL–Victor´s Assembly Language – 1974; VAL II – Victor´s Assembly Language II – 1979.

De acordo com (MATARIĆ, 2014), não existe uma melhor linguagem de programação de robôs em detrimento de outras. Os robôs podem ser programados com uma grande variedade de linguagens e estas linguagens podem variar em termos de propósitos, ou seja, podem ser gerais ou específicas.

Reflita

Você viu que a padronização das linguagens para robôs não evolui da mesma forma como aconteceu para os CLPs, por exemplo.

Por outro lado, você percebeu que os ambientes de simulação são importantes para a programação off-line porque evitam a dependência de se trabalhar com as limitações de programação quando utiliza-se simplesmente linguagens textuais.

Com o constante desenvolvimento tecnológico da robótica, como você avalia a questão de evolução das linguagens e recursos de programação voltados para esta área?

Ambientes de simulação de robôs

Para o desenvolvimento de nossos estudos, na presente unidade desta disciplina, utilizaremos como exemplo de aplicação um robô SCARA industrial, conforme citado anteriormente na Unidade 1. Os modelos abordados serão o IBM 7535 e IBM 7545. Na Tabela 2.1 apresentam-se as principais características desses robôs.

Tabela 2.1 | Características fundamentais dos robôs SCARA IBM 7535 e IBM 7545

		IBM 7535	IBM 7545
	Acionamento	Pneumático	Servocontrolado
Eixo Z	Curso	75 mm	250 mm
	Rotação (Roll)	±180°	±180°
Teta 1	Rotação (θ1)	0 a 200°	0 a 200°
	L1	400 mm	700 mm
Teta 2	Rotação (θ2)	0 a 160°	0 a 135°
	L2	250 mm	530 mm
Capacidade		6 kg	10 kg
Repetibilidade		±0,05 mm	±0,05 mm

Fonte: adaptada de Santos e Gorgulho (2015, p. 118).

Como você pôde observar quando estudou a forma de programação off-line, uma das necessidades para se utilizar este método de programação é a existência de um ambiente computacional de suporte, capaz de simular o robô atuando em seu volume de trabalho e, inclusive, o ambiente em que ele se encontra. Desta forma, é possível representar também o contexto de processo de fabricação em que o robô está imerso e modelar o seu comportamento de interação e sincronismo com os demais elementos do sistema de produção com os quais é capaz de interagir.

Portanto, vamos concluir esta seção entendendo que o método de programação off-line tem como requisitos: a existência de uma linguagem textual de programação e, também, a existência de um simulador.

Exemplificando

Vamos usar um simulador. Link disponível em: <http://www.iem.unifei.edu.br/gorgulho/download/download.html>. Acesso em: 26 jun. 17.

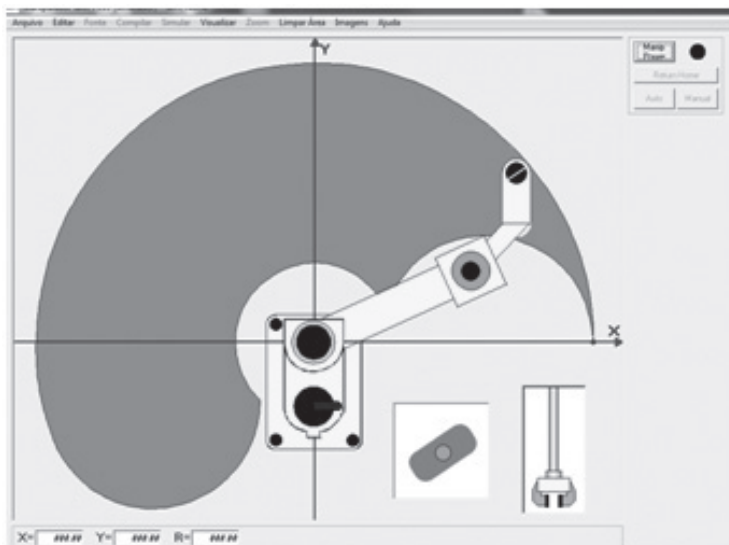
Clique em Simulador do robô IBM 7535. Siga as instruções para instalação e depois siga os passos:

• Inicie o programa. Clique no menu Arquivo, depois na opção Novo. Digite nesta janela apenas as instruções:

A:Subr;

End;

• Clique em Compilar. Não havendo erros, clique em Simular e veja a tela da Figura 2.2;

Figura 2.2 | Tela com robô desligado

Fonte: Santos e Gorgulho (2015).

• Clique no botão Manip Power para acionar o robô. O LED vermelho acenderá. Execute o procedimento de referenciamento, clicando no botão Return Home.

• Escolha entre modo Auto (para rodar programa instalado) ou modo Manual (para operar manualmente).

- Como não foi editado um programa, escolha o modo Manual.
    - o Você verá a tela conforme a Figura 2.2, que apresenta os botões de movimentação do robô.
    - o Além disso, existe a opção de clicar com o mouse em qualquer ponto no volume de trabalho do robô, para que ele movimente o braço.

Faça alguns testes e comece a familiarizar-se com o simulador!

Sem medo de errar

Você está envolvido com a avaliação de sistemas robóticos que precisam ser programados para realizarem as suas tarefas.

Em primeiro lugar, como você deverá proceder para desenvolver o programa de um sistema robótico? Existe uma linguagem padrão que deve ser utilizada? Existe uma norma que estabelece a linguagem mais apropriada? Para que servem os simuladores?

Vamos proceder em etapas:

Etapa 1: definição do modelo de programação.

- Inicialmente você precisa estar convicto de que programar robôs não é uma tarefa mais complexa do que programar outros recursos disponíveis em sistemas de produção automatizados.
- Só há duas formas de programar um robô: programação on-line ou programação off-line.
- Opção de programação on-line:

o Só se justifica se a opção off-line for inadequada.

o O ensinamento acionado depende de um *teach pendant* para programação, e você deve optar por essa alternativa quando um controle ponto a ponto é capaz de resolver o problema.

o O ensinamento manual pode ser usado quando a trajetória é complexa e não existe um padrão específico. É o caso específico de robôs utilizados para pintura, por exemplo, matéria que envolve grande expertise humana para definir as trajetórias. Neste caso, esteja ciente de que você depende de um robô com um sistema de controle de percurso contínuo.

o Tenha ciência de que há risco de acidentes em virtude do

contato direto do ser humano com o robô, e que o robô pode realizar tarefas em ambientes hostis, onde o ser humano pode ser afetado.

- Opção de programação off-line:

o Neste caso, avalie a disponibilidade de um ambiente de simulação, que é um instrumento de trabalho vital para você programar o robô.

o O procedimento deve ser:

- Modelar o sistema de automação em que o robô está inserido.
- Simular a realização das tarefas do robô.
- Fazer os ajustes de calibração para adequar o modelo simulado à realidade do sistema de produção.

Etapa 2: Escolha da linguagem.

- Não há uma linguagem preferencial, uma vez que não existe padronização. A questão é adequar-se ao fabricante do robô que atende as necessidades do problema.

Etapa 3: Uso de ambiente de simulação.

- O simulador está atrelado ao pacote de programação off-line.
- Conforme mencionado na Etapa 1, é uma ferramenta de auxílio para o programador a desenvolver a rotina de tarefas que o robô deseja executar.
- A partir do modelo, a linguagem textual de programação é gerada automaticamente.
- É necessário realizar procedimento de calibração para ajuste do posicionamento real do ponto de operação do robô no sistema de produção automatizado.

Dessa forma, fica desmistificado o procedimento para programação de um robô para realização de um conjunto de tarefas.

Avançando na prática

Dimensionamento da resolução de controle, precisão e repetibilidade de um manipulador

Descrição da situação-problema

Como você está tratando da questão de programação de robôs para a execução de tarefas, um dado importante é estimar as características fundamentais de um determinado robô, tais como precisão, repetibilidade e resolução de controle. Você aprendeu que esta estimativa é complexa de ser feita. Entretanto, se o robô manipulador industrial que você está avaliando é de estrutura mais simples, que envolve um número reduzido de graus de liberdade, em virtude da especificidade das tarefas que ele realiza e porque ele está inserido em uma linha de produção de alto índice de produtividade, você pode realizar uma estimativa, considerando como foco de sua análise uma determinada articulação com seu elo. Se você estiver utilizando um robô em que os elos se movimentam por translação, faça uma análise sobre um valor estimativo da resolução de controle, a repetibilidade e a precisão de uma determinada articulação, em que o deslocamento é m e, apresenta uma média de erro de posicionamento muito baixa e desvio padrão de 0,05mm. O controlador trabalha com 12 bits para essa articulação.

Resolução da situação-problema

Baseado na hipótese de que podemos utilizar uma análise estática do robô, então teremos, conforme visto anteriormente:

• Cálculo da resolução de controle – faremos o cálculo a partir da resolução associada à capacidade de armazenamento em bits, uma vez que já vimos que a análise mecânica é de uma complexidade que foge de nosso escopo:

$$RC_2 = \frac{D}{2^n - 1} = \frac{0,4}{2^{12} - 1} \cong 0,10 \text{ mm}$$

• Cálculo da repetibilidade:

$$\text{Re} = \pm 3\sigma = \pm 3.0,05 = 0,15 \text{ mm}$$

• Cálculo da precisão:

$$Pe = \frac{RC}{2} + 3\sigma = \frac{0,1}{2} + 0,15 = 0,20 \text{ mm}$$

Faça valer a pena

1. Para um mecanismo de articulação e elo únicos, teremos a expressão $Re = \pm 3\sigma$ em que σ é o desvio padrão do erro visto anteriormente. Esta afirmação é válida para a seguinte característica de um robô.

a) Para medida da precisão.
b) Para medida do erro do controle por realimentação.
c) Para medida da repetibilidade.
d) Para medida da resolução de controle.
e) Para a medida da precisão da resolução de controle.

2. Considere as seguintes afirmações sobre as linguagens de programação de máquinas:

I. As máquinas de comando numérico computadorizado (CNC) usam o Código G.
II. Um exemplo de linguagem exaustivamente conhecida na área de programação de CLPs é a linguagem Ladder.
III. No caso dos robôs não acontece uma padronização.

Podemos afirmar que:

a) Somente a alternativa I é verdadeira.
b) Somente a alternativa II é verdadeira.
c) Somente a alternativa III é verdadeira.
d) Todas as alternativas são verdadeiras.
e) Somente as alternativas I e III são verdadeiras.

3. Na programação on-line, a tarefa é ensinada ao robô por meio do operador, que move o manipulador através do ciclo de movimento que é necessário para que a tarefa seja cumprida. Nesse contexto, considere as afirmações a seguir:

I. Para realizar este tipo de programação existem dois métodos.
II. Este método de programação vem substituindo o método de programação off-line.
III. Não é necessário utilizar o próprio manipulador, comprometendo a linha de produção.

Assinale a alternativa que associa corretamente V ou F às afirmativas propostas.

a) V, F, F.
b) V, V, F.
c) V, V, V.
d) F, V, V.
e) F, F, F.

Seção 2.2

Ensaios de programação – Parte I

Diálogo aberto

Você está envolvido no contexto de programação de robôs. Já passou pela experiência de que programar um robô significa estabelecer um conjunto de instruções que serão capazes de controlar o movimento das juntas e elos do robô.

Já foi estabelecido, também, que não há uma padronização de linguagens de programação de robôs, e você já aprendeu que um dos métodos mais utilizados, atualmente, para a programação de robôs, é a programação off-line.

Esse método está associado à questão de existência de um sistema de programação que simule os movimentos de um robô para que, posteriormente, os modelos de programação no simulador, possam ser utilizados na prática. Nesse sentido, você pode acessar um modelo de simulador para dar suporte aos seus estudos.

Entretanto, na atual fase, você deve responder às seguintes questões: como será construído o programa com o auxílio de um simulador? E como ficaria a questão da linguagem textual para o desenvolvimento do programa? Como isto poderia ser conciliado?

Para resolver essas questões, você aprenderá sobre os recursos que devem existir em um ambiente de programação de robôs para que um programador possa desenvolver as suas soluções. Você aprenderá, também, como é a estrutura da linguagem AML/Entry, Version 3, para o desenvolvimento de programas.

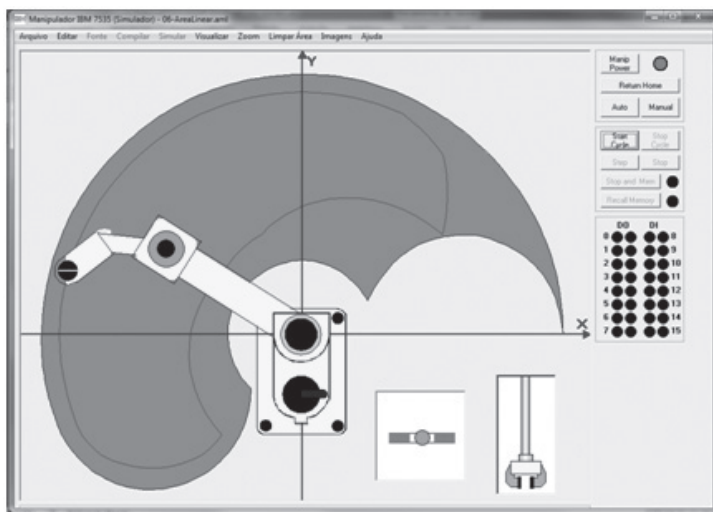
Por fim, você aprenderá a programar os primeiros movimentos no robô SCARA: movimento do eixo z e acionamento da garra.

Não pode faltar

Conhecimento do ambiente de programação

Já foi visto que não há uma padronização das linguagens de

programação de robôs. Portanto, é importante você ter conhecimento a respeito de como deve ser um ambiente de programação de robôs. A Figura 2.3 ilustra a tela do simulador que está sendo usado nesta disciplina, e que é um exemplo interessante para que você possa conhecer esses ambientes. Perceba que já existem mais botões de interação com o usuário do que havia antes, na Seção 2.1.

Figura 2.3 Exemplo de tela do simulador do robô IBM 7535

Fonte: Santos, Gorgulho (2015).

Portanto, para que você possa programar um robô, é necessário existir um sistema de programação que ofereça um conjunto mínimo de funções que contemple:

• Declaração de variáveis – utilizadas para representar dados de tempo e geométricos.

• Desvios incondicionais e controlados – possibilidade de uso de GO TO de forma estruturada para a programação de loops controlados ou por meio de *labels* que permitem a programação de desvios incondicionais.

• Uso de contadores – podem ser utilizados algoritmos na forma de blocos funcionais previamente definidos na linguagem, ou podem ser programadas funções específicas para este fim.

• Programação de breakpoints – são pontos de parada forçados que podem ser programados durante a etapa de verificação da

programação que estiver sendo executada, ou então, para permitir a interação do robô para que se efetue o sincronismo com outras máquinas ou operadores humanos;

- Interface de comunicação – é necessário existirem entradas/saídas que possam ser digitais (geralmente binárias) ou analógicas para que o robô se comunique com outros equipamentos.
- Interação por eventos – o robô pode ser controlado por eventos que são detectados por sensores externos ou eventos temporizados, que são previamente programados em função de tempos padrões para realização de atividades.
- Controle de limite de velocidade – importante quando o robô precisa se mover com maior velocidade.
- Controle de precisão – importante para que o posicionamento ocorra dentro de campo de tolerância, que é de geometria esférica. Quanto menor este campo, maior a precisão desejada.
- Controle de acionamento do efetuador – pode ser controle On-Off (atuadores pneumáticos) ou controle contínuo (atuadores elétricos).
- Controle de movimento – podem utilizar diferentes referenciais:
    - o Um sistema fixo como referencial absoluto.
    - o Um sistema incremental que se move a partir da posição atual.
- Controle do eixo vertical – este eixo pode ser controlado de forma independente dos demais e realizar movimentos de translação específicos.
- Controle de trajetória – define a forma como os pares elo-junta estarão se comportando para provocar o movimento do robô.

Portanto, independente da linguagem de programação que você for utilizar ou do fabricante do robô industrial que você for programar, já saberá quais serão os recursos básicos que o ambiente de programação deve suportar, para que você possa desenvolver as suas atividades de programador.

Definindo os elementos para programação de posicionamento

Uma vez que nesta Seção é focado o robô IBM 7535, a linguagem que será estudada como exemplo será a AML (A Manufacturing Language), na versão AML/EntryVersion.

Requisitos de um identificador na linguagem AML

- Deve possuir até 72 caracteres, sendo que o primeiro precisa ser alfabético e os demais podem ser alfanuméricos ou o *underline*.

- O caractere *underline* não pode ser o último do identificador.

- Demais caracteres especiais não são permitidos.

Uso de comentários na linguagem AML

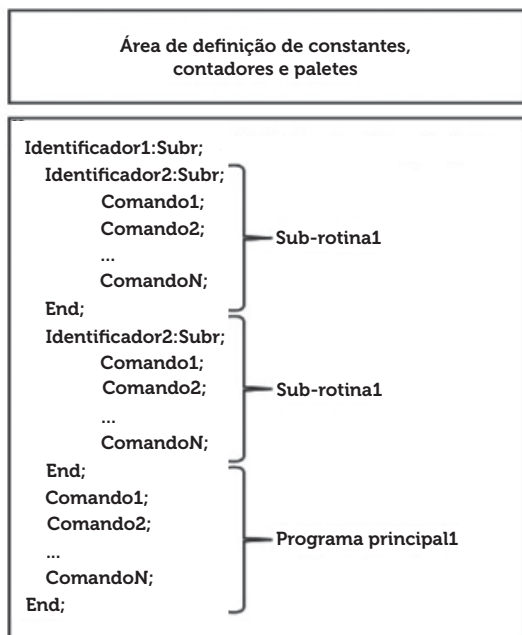
- Em AML, a sintaxe para indicadores de comentários é a inscrição de dois sinais negativos "--" que podem estar em uma linha em separado ou em uma linha de comando, após o ";".

- É comum adotar-se um cabeçalho identificador nos programas, com informações sobre:

    - Nome do programa e do programador.
    - Função do programa e tarefas executadas.
    - Cliente solicitante.
    - Data da programação.

Esta linguagem utiliza o conceito de sub-rotinas para estruturação de programas, conforme ilustrado na Figura 2.4. Observe os seguintes detalhes nessa estrutura:

- Existe uma sub-rotina principal que contém as demais sub-rotinas;
    - Inicia-se por um identificador que será o nome da sub-rotina.
    - O identificador é seguido do comando SUBR.
    - É utilizado um caractere ":" para separar o identificador do comando.
- As sub-rotinas internas podem ser definidas logo após a criação da sub-rotina principal. Essas sub-rotinas podem receber parâmetros que permitem o uso de recursos avançados de programação, mas que não serão tratados nesta disciplina por questões de complexidade.
- O comando END é usado para finalizar a sub-rotina.

Figura 2.4 | Modelo de estrutura da linguagem AML

Fonte: Santos e Gorgulho (2015, p. 136).

Reveja em detalhes a Figura 2.4 e analise a sintaxe que foi utilizada, para que você possa fixar estes procedimentos e não tenha dificuldades em compreender os programas que poderão ser inseridos no simulador.

Para o posicionamento do robô SCARA será realizado o estudo de seus movimentos em duas etapas:

- Parte I - Estudo do movimento do eixo z e abertura e fechamento da garra;
- Parte II - Estudo dos movimentos dos elos e juntas nos eixos x e y.

Nesta Seção vamos estudar a Parte I, para começar a treinar a programação de robôs.

Os comandos para o controle do eixo z são:

- UP – faz o eixo z subir.
- DOWN – faz o eixo z descer (no caso do robô SCARA é por gravidade).

O modo de operação do sistema de controle do robô SCARA IBM 7535 para o eixo z é:

- Existem chaves de fim de curso – limite inferior e limite superior – que são sensores apropriados para realimentar o sistema de controle do robô, para que este possa identificar se o robô atingiu as referidas posições.
- Para que o robô não fique travado por mau funcionamento, existe um sistema de controle temporizado do tipo *watchdog*:
  - o No caso do IBM 7535, o fabricante estipulou um tempo de 1,5s.
  - o Se o robô não executar seu percurso de subida ou descida neste intervalo de tempo, o sistema de controle emite uma informação de erro OT, que significa *Over Time* (tempo excedido).
  - o Quando o sinal OT é gerado, causa uma interrupção no programa.
  - o A linguagem AML permite que este tempo de espera possa ser reconfigurado num intervalo $0 \leq T_z \leq 25,5$ segundos, por meio dos comandos UP (Tz) e DOWN (Tz).

Os comandos para o controle da garra são:

- GRASP – faz a garra fechar.
- RELEASE – faz a garra abrir.
- $DELAY(T_d)$ – tempo de atraso do tipo ON-*delay*.

O sistema de controle do robô que atua no modo de operação da garra apresenta as seguintes características:

- Seus comandos não possuem realimentação. Portanto, o sistema de controle é de malha aberta.
- Para evitar que a garra se movimente antes de agarrar uma peça, o comando $DELAY(T_d)$ retarda o início de movimento de T_d .

Veja como é possível implementar um programa para testar o movimento do eixo z, que simplesmente faça o eixo descer e aguardar 1s, faça ele subir e aguardar 2s, depois faça ele descer novamente e aguardar 3s, além de, por fim, retornar depois de aguardar 4s.

A solução é:

```
Teste_Garra:SUBR;
Down;
Delay(1);
  UP;
Delay(2);
  Down;
Delay(3);
  UP;
Delay(4);
END;
```

Teste no simulador e veja o que acontece.

Conexões de entrada e saída

Os robôs industriais podem se comunicar com outras máquinas, pois dificilmente um robô realizará suas tarefas de forma isolada.

Para que a comunicação seja estabelecida, existem portas de entrada e de saída, e essas portas podem ser digitais ou analógicas.

O robô SCARA IBM 7535, em estudo, possui a seguinte configuração de entradas e saídas digitais:

- Possui 16 entradas digitais DI (Data Input).
- Possui 16 saídas digitais DO (Data Output).
- As portas, tanto de entrada quanto de saída, são numeradas de 0 a 15.

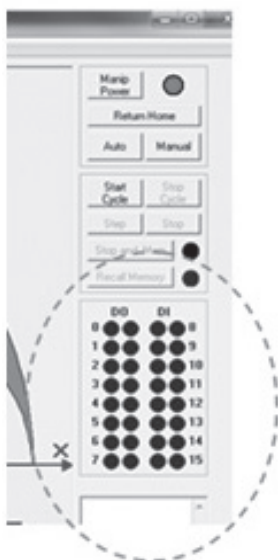
No simulador, essas entradas DI e saídas DO são representadas de acordo com a Figura 2.5.

O comando utilizado para manipular uma saída é:

- $WRITE(saida, estado)$
  - o Parâmetro saída – representa o endereço da porta que se deseja controlar.
  - o Parâmetro estado – representa a condição da saída: 0 ou 1.

Um possível comando utilizado para manipular uma entrada é:

- **WAITI (entrada, estado, tempo)**
    - o Parâmetro entrada – representa o endereço da porta que se deseja aguardar.
    - o Parâmetro estado – representa a condição que a entrada deve alcançar.
    - o Parâmetro tempo – representa o tempo que a entrada tem para alcançar o estado programado.
    - o Se o estado for atingido, o programa evolui para a próxima instrução.
    - o Se o estado não for atingido, um erro OT (*Over Time*) é emitido.

Figura 2.5 | Representação das entradas e saídas do robô SCARA IBM 7535 na tela do simulador

Fonte: Santos e Gorgulho (2015).

Na Seção 2.3, veremos outro comando de manipulação de sinais de entrada e como é possível utilizar estes comandos para sincronizar as operações entre diferentes máquinas, estabelecendo um protocolo de comunicação entre elas.

A questão do robô SCARA IBM 7535 possuir um sistema de controle que considera a possibilidade de uso de temporizadores para a segurança das operações é algo muito positivo.

O programa Teste_Garra foi implementado com a função *DELAY* (T_d) porque o simulador não permite alterar o tempo padrão de *watchdog* 1,5s.

Como você faria para programar variando o *watchdog*?

Se o simulador tivesse esse recurso de simulação o resultado seria diferente? Explique.

Validação dos movimentos

Este curso aborda a questão de programação off-line e, portanto, baseia-se no uso de simuladores para que se possa realizar a tarefa de programação de robôs.

A partir da interação do programador com o ambiente de simulação, é possível realizar os testes necessários para validação dos movimentos desejados para o robô realizar.

Após a realização dos testes, o programa pode ser enviado para o robô (operação de download) para que o sistema de controle do mesmo receba as instruções programadas (GROOVER, 2011), como pode ser visto por meio do uso de um simulador gráfico que foi disponibilizado no link, disponível em: <http://www.iem.unifei.edu.br/gorgulho/download/download.html>. Acesso em 26 jun. 2017. Na seção 2.3, você verá como este ambiente pode ser utilizado para representar a interação de um robô com outras máquinas.

Além disso, lembre-se de que se ainda forem necessários ajustes para aproximação das dimensões geométricas de um sistema virtual criado no simulador com as dimensões reais do sistema físico, os pacotes de software comerciais disponíveis no mercado possuem módulos específicos para realizarem estes ajustes de precisão.

Pesquise mais

Para que você possa utilizar os recursos de programação de um robô de forma que o seu aprendizado possa ser aplicado na solução de problemas reais, foi proposto desenvolver os estudos tendo como base um exemplo real de robô SCARA industrial, isto é, os robôs da IBM

modelo IBM 7535 e IBM 7545.

Uma vez que você está se familiarizando com o simulador deste robô, é importante você conhecer mais detalhes envolvendo este painel de controle, para que você tenha uma noção dos comandos disponíveis no painel de um robô real. Para isso, leia em Santos e Gorgulho (2015), no Capítulo 4 (seção 4.11), detalhes sobre este painel, ilustrado na Figura 2.6.

Figura 2.6 | Painel de controle do robô IBM 7535

Fonte: Santos e Gorgulho (2015, p. 119).

Sem medo de errar

Você está avançando na questão de direcionar a sua equipe técnica à programação de robôs.

Você já compreendeu como é importante o uso de simuladores e agora precisa resolver outras pendências para que o projeto continue evoluindo.

Como será construído o programa com o auxílio de um simulador?

E a questão da linguagem textual para o desenvolvimento do programa?

Como isso será conciliado?

Para a resolução desses problemas você deve:

- **Familiarizar-se com o simulador.**
- **Aprender a estrutura da linguagem de programação.**
- **Aprender os comandos de movimentação.**
- **Aprender os comandos de leitura de entradas externas e de escrita em saídas externas para estabelecer a comunicação com**

máquinas que estejam interagindo com o robô.

- Realizar os testes de simulação para que você possa validar o movimento do robô, graças aos recursos gráficos de simulação, assim obtendo a linguagem textual necessária para você programar o robô real.

Avançando na prática

Teste de movimento da garra de um robô SCARA no eixo z

Descrição da situação-problema

Imagine que você participou da implantação de um braço robótico na linha de produção de uma fábrica, que agora você necessite realizar testes de movimento do eixo z de um robô SCARA e esteja preocupado com as seguintes questões:

- Como seria possível detectar alguma falha em que a garra do robô ficasse presa, sem conseguir concluir a sua trajetória no eixo em questão?
- E como seria possível garantir que a garra não iria entrar em movimento antes de conseguir fixar firmemente a peça por meio do seu fechamento?

Resolução da situação-problema

- Sobre a questão do travamento da garra.
  - O sistema de controle do robô possui uma realimentação da posição em que a garra se encontra, ou seja, um sensor que detecta o posicionamento no limite superior e outro que detecta o posicionamento no limite inferior.
  - Se a garra ficar presa, ou se não houver pressão de ar suficiente para fazê-la subir, existe um sistema do tipo *watchdog* que aguarda 1,5s após ser processado o comando *UP* (que faz o eixo z subir) ou *DOWN* (que faz o eixo z descer) para que a movimentação seja concluída. Se a garra não atingir a posição limite, um sinal OT (*Over Time*) será enviado e a execução do programa será interrompida.
  - Existem ainda os comandos *UP* (T_z) e *DOWN* (T_z) que podem modificar o valor padrão de 1,5s para outro valor dentro do intervalo $0 \leq T_z \leq 25,5$ segundos.

- Sobre a garantia da garra não entrar em movimento antes do tempo:
    - o O comando *GRASP* faz a garra fechar. Assim que ele for dado, é acionado o comando *DELAY* (T_d) que provoca um tempo de atraso do tipo ON-*delay* no acionamento dos comandos de movimentação da garra.

Faça valer a pena

1. Os robôs industriais podem se comunicar com outras máquinas, pois dificilmente será o caso de um robô realizar suas tarefas de forma isolada. Nesse contexto, assinale a afirmativa que contém um comando de manipulação de entradas ou saídas:

a) *WRITE (x, y)*.
b) *DELAY* (T_D)
c) *RELEASE.*
d) *GRASP.*
e) *UP.*

2. Para que a comunicação seja estabelecida, existem portas de entrada e de saída, e estas portas podem ser digitais ou analógicas. O robô SCARA IBM 7535 possui a seguinte configuração de entradas e saídas digitais:

I. Possui 16 entradas DI (Data Input).
II. Possui 16 saídas DO (Data Output).
III. As portas, tanto de entrada quanto de saída, são analógicas ou digitais.

As afirmações de I a III são (V) verdadeiras ou (F) falsas? Assinale a alternativa correta.

a) F, V, F.
b) F, V, V.
c) V, V, V.
d) V, F, V.
e) V, V, F.

3. O modo de operação do sistema de controle do robô para a garra não possui realimentação. Portanto, o sistema de controle é de malha aberta.

Preencha as lacunas:

Os comandos para o controle da garra são: ________ – faz a garra fechar; ________ – faz a garra abrir; ____________– tempo de atraso do tipo ON-*delay*.

a) GRASP; RELEASE; UP.
b) GRASP; DOWN; RELEASE.
c) RELEASE; UP, $DELAY(T_d)$.
d) GRASP; RELEASE; $DELAY(T_d)$.
e) $DELAY(T_d)$; GRASP; RELEASE.

Seção 2.3

Ensaios de programação – Parte II

Diálogo aberto

Passo a passo você está avançando na questão de como proceder para desenvolver os programas que são necessários para que robôs possam executar atividades em um sistema de produção.

Dessa forma, você, que é responsável por cumprir o planejamento de automação utilizando sistemas robóticos, já foi capacitado para avaliar os modos de programação adequados para a realidade do sistema de produção em estudo e, também, sobre como apropriar-se do uso de simuladores para auxiliá-lo no desenvolvimento dos programas necessários para definir as trajetórias que os robôs devem executar.

Entretanto, como você resolverá a questão de orientar a sua equipe para programar a sincronização de um sistema robótico que precisa se comunicar com outros equipamentos?

Qual será a técnica de programação que você irá propor para a automação de processos de paletização, necessários para a realização de montagens e empacotamentos previstos na linha de produção?

Para a solução dessas questões, você verá, de forma detalhada, comandos básicos de programação de movimento absoluto e incremental, além da programação de percursos. Estudará, ainda, recursos adicionais para a construção de programas, tais como: uso de constantes, rótulo para desvios condicionais e incondicionais, contadores e sub-rotinas.

Complementando esta fase, você verá como implementar a sincronização que envolve a programação de testes de monitoração do volume de trabalho, de rótulos e contadores, de comunicação entre equipamentos e de processos de paletização.

Então, vamos concluir mais uma fase?

Não pode faltar

Na Seção 2.2 foram apresentados os primeiros comandos para que você compreendesse como programar os movimentos do robô SCARA IBM 7535, segundo o eixo z e também de abrir e fechar a garra.

Além disso, você viu que existem entradas e saídas que permitem que esse robô se comunique com o meio externo.

Vamos avançar para entender como programar trajetórias e a interação de um robô com o meio para realização de operações específicas.

Programação de trajetórias

Para a programação dos movimentos de um robô que darão origem à sua trajetória, é necessário combinar a programação na forma de uma lista de instruções com técnicas de ensinamento, conforme visto na Seção 2.1, a respeito dos modos de programação on-line e off-line. De um modo geral, baseado nas linguagens de programação comerciais, podemos citar as seguintes instruções para realizar o movimento de um robô (GROOVER, 2011):

- MOVE *P1*–comando fundamental para que o robô se movimente da posição atual para *P1*. A maneira mais usual de definir P_1 é utilizando o método de ensinamento para colocar o robô na posição desejada e armazenar na memória.
- DEFINE **NOME** = PATH *(P1, P2,..., Pn)* – comando que define um percurso em que o robô vai percorrer uma sequência de pontos, de acordo com a ordem prescrita. É atribuído um identificador "**NOME**" para cada percurso que for programado. Uma declaração do tipo MOVE **NOME** é necessária para movimentar o robô no percurso programado.
- SPEED *v* – comando que corresponde à velocidade inicial que deve ser declarada antes do comando que executa o programa de movimentação do robô. Esta informação de velocidade corresponde a um setup deste parâmetro. Deve ser declarada a unidade de medida que está sendo utilizada.
- SPEEDN – neste caso, o comando define a velocidade relativa em termos percentuais, tendo com referência a velocidade inicial definida anteriormente.

Com relação ao comando MOVE, existem variantes que podem significar diferentes situações:

- Interpolação linear.
- Movimentos relativos ou incrementais.

- Movimentos de aproximação ou afastamento.

Neste contexto, é importante você conhecer os seguintes comandos:

- MOVES $P1$ - significa que o movimento deve ser em linha reta, ou seja, interpolação linear.

- DMOVE ΔP - significa que será realizado um movimento incremental a partir da posição atual.

- APPROACH $(P1, d)$ - move o robô de sua posição atual até uma distância d de $P1$, de tal forma que o movimento final é de uma simples translação. Bastante útil para a manipulação de peças.

- DEPART d - este comando pode ser utilizado depois que a garra apanha uma peça. Uma simples translação tira o robô do ponto de contato para que, na sequência, possa seguir uma determinada trajetória.

Definição dos modelos

Um modelo de programa que define uma trajetória pode ser definido utilizando determinados recursos importantes:

- Definição de constantes – podem armazenar valores inteiros, reais e coordenadas de um ponto.
- Utilização de rótulos – são utilizados para controlar o fluxo de execução do programa. É importante observar que:
  - o A sintaxe deste comando na linguagem AML é NOME:, onde NOME é um identificador que você define com a sintaxe adequada (conforme mencionado na Seção 2.1), seguido de ":".
  - o Podem ser programados desvios condicionais – uma condição é testada e, dependendo do resultado do teste, o programa desvia para um determinado rótulo.
  - o Podem ser programados desvios incondicionais – neste caso, a sintaxe do comando é BRANCH (NOME), em que NOME é o identificador do rótulo para o qual se deseja desviar a execução do programa.
- Utilização de contadores – é um recurso muito importante porque é comum precisar contar itens em um ambiente industrial. Na

linguagem AML, para se utilizar um contador é necessário controlar cinco comandos: STATIC COUNTER; SETC; INCR; DECR e TESTC. O procedimento para programar o seu uso envolve os seguintes passos:

1) Escolha um identificador para o contador. Seu valor inicial será zero, assim que você instanciá-lo, por meio do seguinte comando:

- **CONTA1**: STATIC COUNTER;

2) Você poderá programar um valor inicial diferente de zero, por meio da instrução a seguir, a qual atribui um valor inicial N para o contador **CONTA1**. Portanto, tem-se:

- SETC(**CONTA1**,N);

3) Para a contagem ser realizada, o contador poderá ser incrementado ou decrementado de uma unidade. Os comandos são:

- INCR(**CONTA1**); --Incrementa o contador de uma unidade.
- DECR(**CONTA1**); --Decrementa o contador de uma unidade.

4) Para finalizar a contagem, é feito um teste para saber se a contagem atingiu o valor desejado. Em caso afirmativo, indica-se o rótulo para onde o programa deve avançar. Exemplo de instrução:

- TESTC(**CONTA1**, N, Rot_X); - Se o contador atingir N, então o programa desvia para o rótulo Rot_X.

- Uso de sub-rotinas – é um recurso importante para que você possa modularizar o desenvolvimento de seu programa principal e, sempre que houver a necessidade do robô desenvolver um determinado movimento repetitivo, que você programe a execução deste movimento por meio de uma sub-rotina. Depois, é só chamar esse procedimento para que seja executado de forma adequada e sistemática.

Dependendo da complexidade da tarefa que o robô deverá executar, você pode fazer uso de vários recursos, conforme ilustrado acima, para que as tarefas possam ser programadas de forma adequada.

Uma das dificuldades que existe nos robôs com articulações rotacionais é executar uma trajetória retilínea. No caso do robô SCARA IBM 7535, há uma limitação técnica em reproduzir este tipo de trajetória, e seu próprio manual admite que possam ocorrer situações de erro, se o comando for

usado fora da área prevista.

Se você necessitasse de o robô realizar uma trajetória linear com precisão, o que você faria?

Existe algum comando previsto para isso em alguma linguagem comercial para robôs?

E na linguagem AML é possível tratar este problema?

Pense a respeito.

Testes de campo de trabalho

Um robô estará sempre interagindo com o meio externo. Portanto, é muito importante que você simule todas as interações para que o comportamento do robô, em seu campo de trabalho, aconteça de forma controlada.

Existem referências bibliográficas, como GROOVER (2011), que citam esta questão como sendo uma tarefa de estabelecer intertravamentos para a operação de um robô. Esse termo é bastante utilizado em controle sequencial, e intertravar significa estabelecer uma lógica para a transição de estados que esteja associada à ocorrência de eventos internos ou externos.

Portanto, conforme o robô atua em seu campo de trabalho, uma série de testes deve ser executada durante a sua operação. Vamos estudar as principais situações (SANTOS; GORGULHO, 2015; GROOVER, 2011):

- Teste das condições de segurança – muitas vezes uma pessoa pode entrar no volume de trabalho de um robô, e isso pode causar acidentes. Para esta situação, é necessário sensoriar o sistema para que sempre seja testada a condição de invasão. A declaração a seguir pode ser utilizada para este fim:
    - REACT DIn, SAFESTOP.
    - Este comando faz com que a estrada DIn seja monitorada constantemente, e uma alteração nesta entrada irá acionar a sub-rotina SAFESTOP. A função desta sub-rotina é interromper as operações do robô imediatamente. Também, deve levá-lo para um estado seguro, que pode ser programado de acordo com as condições e necessidades do sistema em que o robô está inserido.

- Teste dos rótulos e contadores – utilizando o comando TESTC você pode utilizar os rótulos para compor os desvios condicionais necessários. Avalie o código apresentado a seguir e verifique como estão sendo processados os testes:

```
P2:New Pt(100,600,0);
P1:nEW Pt(650,0,0);
T1:New 0.3;
CONTA1:static counter;
CONTA2:staticcounter;
Carga1:Subr;
INICIA:;
TestC(CONTA2,4,FIM_CARGA);
TestC(CONTA1,6,ROT_CARGA);
Incr(CONTA1);
Delay(T1);
Branch(INICIA);
ROT_CARGA:;
Pmove(P2);
Pmove(P1);
Incr(CONTA2);
SetC(CONTA1,0);
FIM_CARGA:;
End;
```

  - o Observe que o comando TestC(CONTA2,4,FIM_CARGA) estabelece que quando o contador CONTA2 contar 4, o programa deve ir para o rótulo FIM_CARGA e não executa outras instruções:
  - o Analogicamente, o comando TestC(CONTA1,6,ROT_CARGA) conta até 6 e, enquanto não atinge 6, há um desvio incondicional para o rótulo INICIA por meio do comando Branch(INICIA).
  - o Desta forma, verifica-se o potencial de uso destes testes com utilização de contadores.

- Teste de comunicação com outros equipamentos – suponha o robô R1 comunicando-se com o robô R2. O teste de comunicação

será estabelecido sempre pela sequência dos seguintes comandos:

o Uma determinada saída de R1 deve estar conectada a uma entrada de R2, para que R1 envie dados para R2.

o Uma determinada saída de R2 deve estar conectada a uma entrada de R1, para que R2 envie dados para R1.

o O envio deve ser ativado por meio do comando WRITEO(DO, AT).

- DO – número da saída.
- AT – valor desejado para ativar. Deve ser mantido enquanto a condição para ativar esta saída for verdadeira. Caso contrário, um novo comando deve ser enviado para desativar a saída: WRITEO(DO, DT), em que DT deve ser o valor de desativação.

o O recebimento deve ser ativado por meio do comando TESTI(DI,VD,ROT_X):

- DI – número da entrada.
- VD – valor desejado. Se o valor de DI for igual a VD, então o programa é desviado para o ROT_X para processar um determinado conjunto de instruções. Caso contrário, utilize um desvio incondicional e permaneça neste loop, conforme exemplificado a seguir:

PROC_ ETAPA3_NOK:;

TESTI(7,1, PROC_ETAPA4); -- Testa se a entrada 7 está em 1 para desviar para a o rótulo PROC_ETAPA4.

BRANCH(PROC_ETAPA3_NOK); -- Permanece no loop enquanto a condição não for satisfeita.

- <u>Teste de processos de paletização</u> – há um comando extremamente facilitador para realizar estes processos na linguagem AML. Os passos são os seguintes:

o Instanciar o pallet por meio do comando: **NOME**: STATIC PALLET(C1, C2, C3, PPL, NTP). A declaração deve ocorrer no início do programa, antes da sub-rotina principal, e seus parâmetros são: (i) **NOME** é o identificador; (ii) C1: coordenada da primeira peça da primeira linha (pode ser horizontal ou vertical); (iii) C2: coordenada da última peça da primeira linha; (iv) C3: coordenada da última peça da última linha; (v) PPL: número de peças por linha; (vi) NTP: número total de peças.

o Inicializar uma variável APT serve como apontador que registra o número da peça atual do palete: (i) SETPART(**NOME**, n) altera o número da peça atual do palete "**NOME**" para n; (ii) NEXTPART(**NOME**) e PREVPART(**NOME**) incrementa ou decrementa o valor do apontador APT do palete.

o O comando GETPART(**NOME**) move o robô para a posição da peça indicada por APT.

o O comando TESTP(**NOME**, N, ROT_X) testa para saber se o robô já chegou na posição da peça N. Em caso afirmativo, o programa desvia para o rótulo ROT_X.

A utilização de paletes na indústria de manufatura e a automação de seu carregamento e descarregamento são frequentes. Veja um exemplo de aplicação ilustrado na Figura 2.7. Trata-se de um palete de 16 peças a ser descarregado em uma esteira que se localiza no ponto (-200,550).

Figura 2.7 | Exemplo de automação para descarga de um palete

```
-- Exemplo de pallet com 12 peças, 4 peças por linha
-- Esvaziando o pallet aguarda-se um sinal da entrada digital zero

C1: New Pt(100,400,0);
C2: New Pt(190,400,0);
C3: New Pt(190,310,0);
Linha: New 4;
Total: New 16;
Caixa: Static Pallet (c1,c2,c3,Linha,Total);


Principal:Subr;                    -- Define valor 1 para o apontador
   SetPart(Caixa,1);
   Pega_Outra:;                    -- Movimenta o braço para a peça
      GetPart(Caixa);              -- Desce a garra
      Down;                        -- Fecha a garra (segura a peça)
      Graap;                       -- Sobe a garra com a peça
      Up;                          -- Move para a esteira
      Pnove(Pt(-200,550,0));       -- Desce a garra
      Down;                        -- Abre a garra (solta a peça)
      Release;                     -- Sobe a garra
      Up;                          -- Se foi última peça vai para Aguarda
      TestP(Caixa,Total,Aguarda);  -- Incrementa o apontador
      NextPart(Caixa);             -- Volta para pegar outra peça
      Branch (Pega_Outra);
   Aguarda:;                       -- Move o braço para (650, 0
      Pmove (Pt (650, 0, 0));)     -- Aguarda nível alto na entrada zero
      WaitI (0, 1, 0);
End;
```

Fonte: Santos e Gorgulho (2015, p. 165).

Validação das trajetórias

O simulador é uma ferramenta que permite testar um programa sem que seja necessário recorrer ao dispositivo para fazer os testes de verificação.

Considerando esse aspecto, os simuladores procuram utilizar os recursos gráficos para desenhar o caminho executado pelo efetuador.

Se você considerar o simulador que está sendo utilizado nesta disciplina, baseado em Santos e Gorgulho (2015), poderá observar que existe a possibilidade de utilizar cores para distinguir o traçado do efetuador, quando a garra estiver na posição inferior ou superior, ou seja:

- É utilizada a cor branca para representar o movimento da garra, quando esta se encontra na posição superior.
- É utilizada a cor preta para representar o movimento da garra, quando esta estiver na posição inferior.
- Para o caso de uma variedade de movimentos, para que a visualização dos movimentos não fique prejudicada, é possível utilizar um conjunto de até nove cores diferentes. O comando que altera a cor é COLOR(N), em que o valor de N determina a cor, conforme o Quadro 2.1.

Quadro 2.1 | Cores disponíveis para o traçado inferior

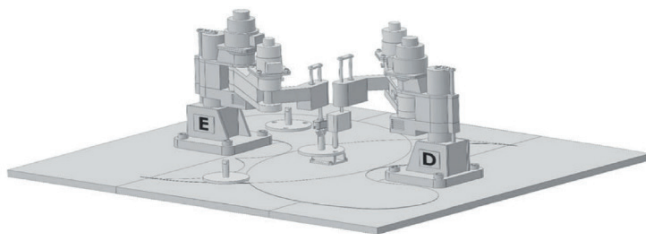
1- Preto	2 - Vermelho	3 - Verde
4 - Azul	5 - Amarelo	6 - Violeta
7 - Ciano	8 - Laranja	9 - Branco

Fonte: adaptado de Santos e Gorgulho (2015, p. 160).

Pesquise mais

Uma das grandes áreas de aplicação de robôs é a indústria de manufatura organizada em células de produção. Células de manufatura são arranjos físicos em que se realizam processos de fabricação, que podem envolver furação, torneamento, fresagem, montagem, entre outros.

Em Santos e Gorgulho (2015, cap. 5, seção 5.180) há um exemplo detalhado de comunicação entre dois robôs para executarem um processo de furação de peças. Leia mais sobre este assunto, você vai ver como é simples modelar a interação entre robôs (Figura 2.8).

Figura 2.8 | Robôs interagindo em processo de furação

Fonte: Santos e Gorgulho (2015, p. 146).

Sem medo de errar

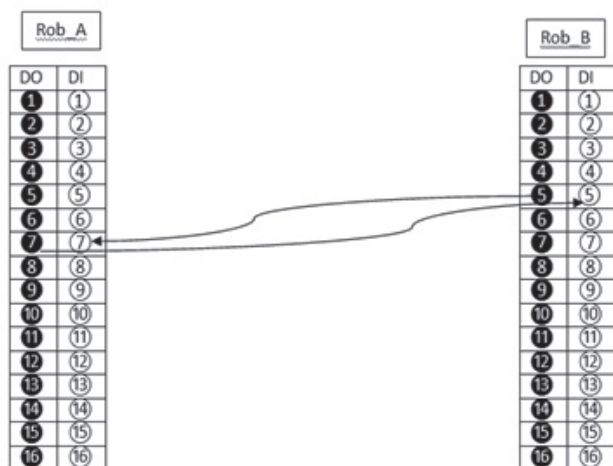
Você, que é responsável pela implantação de um sistema de automação utilizando sistemas robóticos, precisa orientar a sua equipe para resolver o problema de sincronização desses sistemas, para que possam se comunicar com outros equipamentos.

A aplicação que você precisa desenvolver é controlar processos de paletização necessários para a realização de montagens e empacotamentos previstos na linha de produção. Nesse sentido, seu desafio é definir uma técnica para programação dos robôs, para que realizem estas atividades.

A sua primeira atitude deve ser estabelecer uma sistemática para programar a comunicação entre robôs SCARA IBM 7535 e demais equipamentos. Esta sistemática pode ser a seguinte:

1º Passo – Mapeamento das entradas e saídas físicas:

• Separe um conjunto de entradas e saídas em cada um dos equipamentos, constituindo os pares que devem ser sincronizados. A Figura 2.9 ilustra um exemplo de comunicação entre dois equipamentos.

Figura 2.9 | Comunicação entre entradas e saídas físicas

Fonte: elaborada pelo autor.

2º Passo – Programação do envio de dados.

• O envio deve ser ativado por meio do comando WRITEO(DO, AT).

o DO – número da saída.

o AT – valor desejado para ativar. Deve ser mantido enquanto a condição para ativar esta saída for verdadeira.

o Assim que for confirmado o atendimento daquilo que foi solicitado, um novo comando deve ser enviado para desativar a saída: WRITEO(DO, DT), em que DT deve ser o valor de desativação, ou seja, $DT = \overline{AT}$.

3º Passo – Programação do recebimento de dados.

• O recebimento deve ser ativado por meio do comando TESTI(DI,VD,ROT_X):

o DI – número da entrada.

o VD – valor desejado.

• Se o valor de DI for igual a VD então o programa é desviado para o ROT_X para processar um determinado conjunto de instruções.

• Assim que o conjunto de instruções for processado com êxito, uma mensagem deve ser enviada para o outro equipamento, de acordo com o 1º Passo:

- Se o valor de DI for diferente de VD então utilize um desvio incondicional e permaneça neste loop até que receba um sinal de ativação, ou seja, valor de DI igual a VD.

Dessa forma, ficou estabelecido um protocolo a ser seguido para a programação da comunicação entre equipamentos.

Com relação ao processo de paletização, recomenda-se a utilização do procedimento a seguir:

- Instancie o palete por meio do comando: **NOME**: STATIC PALLET(C1, C2, C3, PPL, NTP), lembrando que: (i) **NOME** é o identificador; (ii) C1: coordenada da primeira peça da primeira linha (pode ser horizontal ou vertical); (iii) C2: coordenada da última peça da primeira linha; (iv) C3: coordenada da última peça da última linha; (v) PPL: número de peças por linha; (vi) NTP: número total de peças.
- Inicialize a variável APT, apontador que registra o número da peça atual do palete, lembrando que: (i) SETPART(**NOME**, n) pode alterar o número da peça atual do palete"**NOME**" para n; (ii) NEXTPART(**NOME**) e PREVPART(**NOME**) incrementa ou decrementa o valor do apontador APT.
- O comando GETPART(**NOME**) move o robô para aposição da peça indicada por APT.
- O comando TESTP(**NOME**, N, ROT_X) testa para saber se o robô já chegou na posição da peça N. Em caso afirmativo, o programa desvia para o rótulo ROT_X, que sinaliza tarefa concluída.

Dessa forma, você direciona a equipe a seguir esse procedimento para automação dos processos de paletização que existirem no sistema de produção.

Avançando na prática

Controle de robô utilizando contadores

Descrição da situação-problema

Considere que você é responsável pelo projeto de automação do sistema de produção e necessita adicionar ao teste de rótulos e contadores, conforme visto anteriormente, o acionamento do efetuador no eixo z e a abertura e fechamento da garra. Como seriam as adaptações necessárias para programar esses comandos adicionais?

Resolução da situação-problema

Seriam acrescentados os comandos destacados em negrito na Figura 2.10.

Figura 2.10 | Código de programação para movimentação da garra do robô

P2:New Pt(100,600,0);	**Grasp;**
P1:nEW Pt(650,0,0);	**Delay(T1);**
T1:New 0.3;	**Up;**
T2:New 0.5;	**Delay(T1);**
CONTA1:static counter;	Pmove(P2);
CONTA2:static counter;	**Down;**
Carga1:Subr;	**Delay(T1);**
INICIA:;	**Release;**
TestC(CONTA2,4,FIM_CARGA);	**Delay(T1);**
TestC(CONTA1,6,ROT_CARGA);	**Up;**
Incr(CONTA1);	**Delay(T2);**
Delay(T1);	Pmove(P1);
Branch(INICIA);	Incr(CONTA2);
ROT_CARGA:;	SetC(CONTA1,0);
Down;	FIM_CARGA:;
Delay(T1);	End;
-- Continua na coluna ao lado.	

Fonte: elaborada pelo autor.

Faça valer a pena

1. Para a programação dos movimentos de um robô que dará origem à sua trajetória, é necessário combinar a programação na forma de uma lista de instruções.

Sobre o comando APPROACH, assinale a alternativa correta.

a) Move o robô de sua posição atual até uma distância de.
b) Este comando pode ser utilizado depois que a garra apanha uma peça.
c) Significa que será realizado um movimento incremental a partir da posição atual.
d) Significa que o movimento deve ser em linha reta.
e) Significa que o movimento deve ser na vertical.

2. Um modelo de programa que define uma trajetória pode ser definido utilizando determinados recursos importantes, sendo que um deles é a utilização de rótulos, em que podemos afirmar que:

I. A sintaxe deste comando na linguagem AML é NOME:.
II. NOME é um identificador.
III. Não podem ser usados para programar desvios condicionais.
Qual a alternativa que atribui corretamente V ou F para as afirmações acima?

a) V, V, V.
b) V, F, V.
c) V, V, F.
d) V, F, F.
e) F, V, F.

3. A utilização de contadores é um recurso muito importante porque é comum precisar contar itens em um ambiente industrial.

Assinale a alternativa correta sobre o comando SETC(CONTA1,N).

a) Acrescenta N ao módulo do contador.
b) Define que N é o valor máximo de contagem.
c) Seleciona o contador CONTA1 durante N ciclos de processamento.
d) Zera o contador de módulo N.
e) Atribui um valor inicial N para o contador CONTA1.

Referências

GROOVER, M. P. **Automação industrial e sistemas de manufatura.** São Paulo: Pearson, 2011.

MATARIĆ, M. J. **Introdução à robótica**. São Paulo: Editora Unesp/Blucher, 2014.

SANTOS, W. E.; GORGULHO JÚNIOR, J. H. C. **Robótica industrial**: Aplicação Na Indústria De Manufatura e de Processos. São Paulo: Érica, 2015.

Sistemas de sensoriamento, teleoperação e movimentação de robôs

Convite ao estudo

Nas unidades anteriores, você, responsável por rever a produtividade de um sistema de produção, que pertence ao setor automobilístico, foi capacitado para aplicar novos conceitos para o uso da robótica em sistemas de produção, associados a duas questões fundamentais. Em primeiro lugar, você assimilou os conceitos fundamentais sobre sistemas robóticos e como aplicar estes elementos para melhorar o desempenho de um sistema de produção, observando o potencial que estes sistemas apresentam para desenvolver soluções de automação.

O segundo aspecto em que você foi capacitado refere-se à questão de aplicação de métodos e linguagens de programação de robôs industriais, para que você pudesse assimilar como conduzir processos de implantação desses sistemas robóticos em sistemas de produção para tornar as estratégias de automação factíveis.

Agora, o seu desafio será investigar os recursos tecnológicos que permitem que os robôs possam interagir com o seu ambiente de trabalho e como podem ser potencializadas as ações de interação do elemento humano com os robôs de forma segura e que permita supervisionar as suas operações e, por fim, até que ponto a flexibilidade dos sistemas robóticos permitem a implantação de soluções com maior mobilidade nos arranjos físicos nos sistemas de produção. Dessa forma, você será capacitado a enfrentar os desafios a seguir.

Primeiramente, como resolver problemas de interação do robô com o meio ambiente em que ele atua? Existe a

necessidade de planejar um sistema de sensoriamento de aproximação com a peça. Como isto pode ser planejado? Quais são as possibilidades existentes?

Por outro lado, uma vez implantados sistemas robóticos em um sistema de produção, existe alguma forma de melhorar a questão de diagnóstico de mau funcionamento e manutenção desses sistemas? Existem formas mais eficazes e eficientes para supervisionar esses sistemas para não comprometer a produção com paradas indesejadas?

Outro aspecto fundamental, necessário ser avaliado, é a flexibilidade do transporte de itens para integrar os diferentes centros de custo presentes no sistema de produção. Como isso pode ser atendido, visto que os processos têm ciclos de vida cada vez mais curtos e mudanças dessa natureza provocam alterações nas rotas de produção?

Como pode ser percebido, você está sendo capacitado a tratar de problemas cada vez mais abrangentes para a gestão de sistemas robóticos em sistemas de produção.

Vamos avançar?

Seção 3.1

Sensoriamento e reatividade

Diálogo aberto

Com esta seção, você está iniciando uma nova unidade, que tem como objetivo apresentar os recursos para capacitá-lo a entender como um sistema robótico pode interagir com o meio em que atua.

Quando você tem pleno controle sobre todos os eventos que devem acontecer e pode garantir que o robô executará todas suas tarefas, conforme programado, isto implica em afirmar que todo o ambiente ao redor do sistema robótico estará interagindo com ele de forma totalmente previsível.

Imagine esta situação, em que se considera esta hipótese de que tudo acontecerá conforme programado. Certamente, você teria problemas quando um evento indesejado acontecesse!

Se tudo fosse perfeito, não seria necessário implantar soluções de controle de qualidade por meio de inspeções.

Por exemplo, por mais que um robô tenha de se aproximar de uma peça para agarrá-la, pode ser que a posição desta não esteja exatamente no ponto previsto inicialmente. Neste contexto, como resolver problemas de interação do robô com o meio ambiente em que ele atua? Existe a necessidade de planejar um sistema de sensoriamento de aproximação com a peça. Como isto pode ser planejado? Quais as possibilidades existentes?

Para que você possa receber o suporte para a solução destes problemas, você aprenderá sobre os recursos de sensoriamento interno e externo, que podem ser utilizados, e como funcionam as malhas de controle que utilizam esses dispositivos.

Verá também como um sistema de visão pode ser utilizado em um sistema robótico, para reconhecimento de padrões, para que seja possível realizar diferentes processos de inspeção, reconhecimento e orientação de peças em um sistema de produção.

Vamos em frente e bom trabalho!

Não pode faltar

Na Seção 1.2, você estudou a respeito dos componentes que formam um robô, em que foi apresentada, de modo geral, a funcionalidade de cada uma dessas partes. Nesta seção, teremos como foco apenas uma classe de seus componentes, o sistema de sensores.

Os sensores são transdutores utilizados para enviar sinais ao sistema de controle do robô. Estes sinais podem estar associados a informações internas sobre o controle de trajetória e agarramento de peças, ou a informações externas em que o robô interage com o ambiente. Para fornecer esta diversidade de sinais, existem categorias de sensores que podem estar presentes em sistemas robóticos: tato, proximidade, visão e voz (FILHO, 2014). Estes sensores podem estar distribuídos na estrutura de um robô da seguinte forma:

- **Sensores internos** – são utilizados para que o robô determine os parâmetros necessários para controlar sua posição, velocidade, aceleração e força, a fim de que realize seus movimentos da maneira desejada.
- **Sensores externos** – são os sensores que auxiliam o robô para que este possa realizar suas tarefas por meio do mapeamento do ambiente externo, incluindo a questão de interação com os objetos que são manipulados pelo robô, por meio de sua garra.

Na sequência, você verá detalhes a respeito destes sensores e, em seguida, detalhes sobre como funciona um sistema de visão para robótica.

Sensores internos

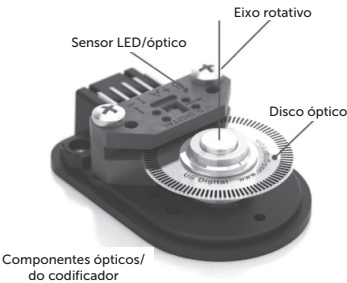
Veja exemplos dos principais sensores que podem estar presentes na estrutura de um sistema robótico (ROMANO, 2002; SOLOMAN, 2012; LAMB, 2015).

A. Sensores de posição

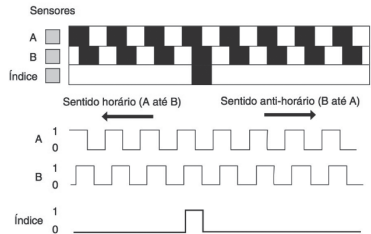
Um codificador é um transdutor capaz de detectar uma posição ou orientação, para fazer parte de um sistema de controle de posição. Os codificadores rotativos ópticos têm uma estrutura, conforme ilustrada na Figura 3.1. Este, em especial, é de estrutura aberta, mas é comum utilizar-se codificador encapsulado em uma caixa de metal resistente que tem enrolamentos e eixos para acoplamento ao sistema que é controlado. Para se determinar a orientação, além da

posição, coloca-se dois conjuntos de ranhuras defasados de 90°, os chamados pulsos A e B do codificador. Além disso, há uma ranhura adicional para identificar a posição de referência inicial do codificador, a qual está associada ao pulso Z. Este método de medição que utiliza os pulsos de um codificador é chamado de quadratura. Veja uma ilustração na Figura 3.2.

É importante observar que o codificador pode executar uma série de voltas. Portanto, o sistema de controle deve fazer essa contagem de pulsos. Outro detalhe é que se for interrompida a alimentação do sistema, o conjunto deve ser reposto em sua posição de referência inicial para que possa efetuar as medições necessárias. Se for preciso utilizar um sistema mais robusto, existem os codificadores absolutos que fornecem um sinal adicional relacionado à soma binária correspondente à posição do codificador.

Figura 3.1 | Codificador (cortesia da U.S. Digital)

Fonte: Lamb (2015, p. 95).

Dessa forma, o sinal produzido pelo codificador fornece uma posição que não necessita de uma posição anterior para ser certificada. Além disso, esse tipo de codificador pode ser usado sempre que for necessário memorizar a posição quando houver falta de alimentação, por exemplo.

Figura 3.2 | Ilustração do modelo em quadratura de um codificador incremental

Fonte: Lamb (2015, p. 96).

B. Sensores de velocidade e aceleração

No caso de medida de velocidade, existem tacogeradores, transdutores analógicos, que podem ser acoplados no eixo do atuador. Dessa forma, é fornecido um nível de tensão analógica que é proporcional à velocidade de rotação do eixo. Entretanto, uma vez que os sistemas de controle utilizados em sistemas robóticos são digitais, os codificadores vistos anteriormente podem ser utilizados para fornecerem medidas indiretas de velocidade e de aceleração.

Medidas de velocidade e aceleração utilizando codificadores

Vamos exemplificar como pode ser calculada a velocidade e a aceleração de um sistema robótico de forma digital. De acordo com Romano (2002), para a medida de velocidade utilizando codificadores é possível aplicar um procedimento em que se adota um intervalo de tempo ΔT fixo que se inicia em um instante t_1 e se finaliza no instante t_2, tal que:

$$\Delta T = t_2 - t_1 \qquad (3.1)$$

Durante este intervalo de tempo basta registrar o valor N_1 do codificador em t_1 e o valor N_2 em t_2, tal que:

$$\Delta N = N_2 - N_1 \qquad (3.2)$$

Dessa forma, você pode obter a velocidade média V_m pela expressão:

$$V_m = \frac{\Delta N}{\Delta T} \cdot FR \qquad (3.3)$$

O FR é o fator de correção para ajustar a relação entre ΔN e ΔT para mm/s.

Ainda que esta velocidade seja média, se o período ΔT for pequeno, não haverá problemas em utilizar estes valores de velocidade.

De forma análoga, a aceleração Ac pode ser calculada a partir do momento em que se calcula a velocidade V_{m1}, em certo intervalo de tempo ΔT_1, e, para o intervalo de tempo consecutivo ΔT_2, a velocidade V_{m2}, observando que:

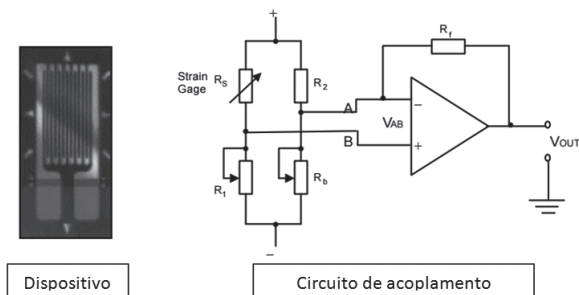
$$\Delta T_1 = \Delta T_2 = \Delta T \qquad (3.4)$$

Portanto, para o cálculo de Ac, você terá:

$$Ac = \frac{V_{m2} - V_{m1}}{\Delta T} \quad (3.5)$$

C. Sensores de força

As medidas de força só são necessárias quando for o caso de controlar a força de contato da garra com os objetos que ela manipula. Nesse contexto, Romano (2002) cita um método clássico utilizando *straingauge* (extensômetro). Trata-se de um transdutor, cujo princípio de funcionamento é resistivo, que varia sua resistência elétrica à medida que sofre deformação causada por uma força que estiver sendo aplicada sobre ele. A Figura 3.4 exemplifica este dispositivo. Uma vez que a variação da resistência elétrica é pequena, para melhorar a confiabilidade das medições, utilizam-se circuitos amplificadores associados a uma Ponte de Wheatstone, conforme representado na Figura 3.3.

Figura 3.3 | Exemplo de *straingauge* (extensômetro)

Fonte: adaptada de Romano (2002, p. 75).

Sensores externos

Um robô interage com o meio externo por meio de três sensores fundamentais: de presença, de distância e de tato (ROMANO, 2002; SOLOMAN, 2012; CAMARGO, 2014; LAMB, 2015).

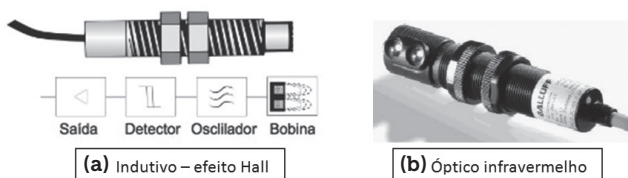
A. Sensores de presença

Para a detecção de peças metálicas, é possível utilizar sensores indutivos. Este efeito baseia-se na indução de correntes elétricas por variação de campo magnético. Portanto, serve para aplicações específicas que envolvem a detecção de metais.

Para a detecção de objetos próximos, é possível utilizar sensores

ópticos reflexivos, que apresentam um emissor de luz infravermelha de baixa potência e um receptor para receber a luz refletida no objeto próximo a ser detectado. Variando-se o ganho do transmissor, é possível variar a distância de detecção dos objetos.

A figura, a seguir, ilustra exemplos de detectores de presença.

Figura 3.4 | Sensores de presença indutivo e óptico

Fontes: (a) Camargo (2014, p. 96); (b) Romano (2002, p. 76).

Quando se utiliza sensores indutivos, existe um aspecto importante a ser considerado: diferentes materiais podem interagir de forma diferente com o campo gerado pelo sensor.

Neste contexto, como você resolveria o problema de correção da detecção da distância do objeto em função do material do qual é composto?

B. Sensores de distância

Para dimensionar a distância entre o robô e os objetos na área de trabalho, podem ser aplicados sensores de ultrassom e sensores ópticos. No caso do ultrassom, baseia-se no método conhecido como tempo de voo do eco, ou seja, um pulso de ultrassom é emitido na direção de um objeto e sua reflexão é detectada, podendo esta distância variar de 70cm a 10m (ROMANO, 2002). No caso óptico, os principais métodos que podem ser aplicados são por triangularização (luz é enviada até o objeto por caminhos diferentes e pode ser aplicado para distâncias curtas de até 50mm), por diferença de fase (utiliza luz modulada e pode ser aplicado por meio de emissores de baixa e alta potência para diferentes faixas de distância) e por tempo de voo (quando se utiliza luz não coerente, podendo medir distâncias de até 20m).

C. Sensores de tato

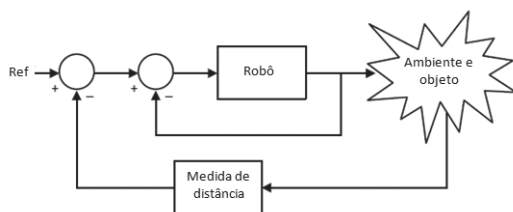
Para a manipulação de objetos frágeis, pode-se utilizar tecnologias como borrachas condutoras que alteram sua resistência quando deformadas e, por meio de uma Ponte de Wheatstone (conforme usada em extensômetros), é possível detectar pequenas alterações e controlar a pressão que a garra exerce sobre eles, sendo necessário realizar controle contínuo e não on-off.

Há duas observações importantes que você deve concluir a respeito das duas classes de sensores discutidas nesta seção (ROMANO, 2002).

Inicialmente, os sensores externos podem fornecer uma grande variedade de informações sobre o ambiente, permitindo que o robô execute tarefas complexas de forma autônoma. Por exemplo, por meio de um sensor que é uma câmera de vídeo, o respectivo sinal pode ser processado digitalmente e, desta forma, o robô é capaz de realizar tarefas de inspeção, de montagem, entre outras. Os sensores podem gerar modelos em três dimensões para que o robô possa reconhecer os objetos. Nesse contexto, uma rede de sensores externos, por sua vez, também pode ser utilizada, para mapear o ambiente e enviar informações para o robô alterar seus movimentos.

A outra questão muito importante é que a principal diferença entre os sensores externos e internos está no tempo de resposta que devem fornecer. Para você entender melhor esta questão, tenha como base a Figura 3.5. Observe que existe uma malha de controle interna e outra externa. A interna está associada ao controle de movimentação, ou seja, sua trajetória, tratando-se de um sistema de controle de posição e devendo ser executada em períodos de milissegundos. É um sistema de controle digital que envolve as etapas de amostragem do sinal, seu tratamento e sua composição, para controlar o movimento de todas as juntas e todos os elos, que compõem a trajetória desejada. Portanto, para o processamento destas informações de controle, os sensores internos devem disponibilizar seus sinais em um tempo menor do que esta taxa de amostragem, para que estejam prontos durante a aquisição de dados, que ocorre a cada período correspondente.

Já a malha de controle externo estará sendo alimentada pelos sensores que trazem informações do ambiente e que devem gerar um novo setpoint para a malha de controle interno. É como se fosse um sistema de controle supervisório que estaria adaptando o robô para realizar uma determinada tarefa planejada por esta malha externa.

Figura 3.5 | Malhas de realimentação para o sistema de controle do robô

Fonte: adaptada de Romano (2002, p. 72).

Sistemas de visão e reconhecimento de imagens

Os robôs são muito utilizados para realizarem tarefas de inspeção para controle de qualidade, de reconhecimento de objetos que estão no campo de visão e de posicionamento da garra para manipular objetos.

Estes sistemas de visão podem utilizar câmeras inteligentes ou digitais juntamente com programas adequados para processamento de imagens. O objetivo deve ser especificar padrões de reconhecimento de imagens para que estes sistemas possam identificar as características necessárias para cada tipo de aplicação: cores, imperfeições na superfície, tolerância nas dimensões geométricas e demais características que podem ser verificadas visualmente (LAMB, 2015).

Portanto, você deve ter a percepção que um sistema de visão computacional não tem como objetivo reproduzir modelos de imagens equivalentes à visão humana, pois não existem sistemas com tamanha expertise. O alvo perseguido tem sido o desenvolvimento de métodos para processar imagens e identificar as características relevantes de forma consistente.

De acordo com Lamb (2015), o avanço tecnológico introduziu o conceito de sistema de visão inteligente, que apresenta o recurso denominado câmera inteligente o qual tem as seguintes características:

- Tem um processador embarcado.
- Dispensa o uso de computador externo e placas de aquisição de dados.
- Pode ter várias câmeras para que cada uma tenha uma função específica.

- Uma câmera inteligente apresenta menor custo que o uso de câmera mais placa e computador.

Observe na Figura 3.6, que ilustra um exemplo de sistema de visão inteligente formado por duas câmeras: a da direita é utilizada para a leitura de código de barras e a da esquerda apresenta lentes ajustáveis para regular a entrada de luz e o foco da imagem.

Figura 3.6 | Exemplo de sistema de visão inteligente

Fonte: Lamb (2015, p. 99).

Por fim, é importante você refletir sobre quais são as tarefas visuais que um sistema de visão pode processar facilmente e quais são as mais complexas.

Nesse contexto, Soloman (2012) faz uma reflexão sobre esta questão e começa esclarecendo que o ponto importante não é classificar determinadas tarefas como sendo difíceis ou fáceis. A questão está em interpretar que um problema pode ser fácil ou difícil em função do detalhe intrínseco associado a uma determinada tarefa. Os fatores que contribuem para tornar um problema difícil são:

- Objetos que apresentam muitos detalhes, como se fossem esculpidos.
- Variações na intensidade de iluminação sobre as faces do objeto.
- Decidir quando existem variações em uma imagem que são consideradas irrelevantes, enquanto outras são consideradas importantes.

Com o uso cada vez maior de robôs nos sistemas de produção, um dos assuntos mais importantes que tem sido discutido é a questão de

sistemas de visão. Pesquise mais sobre os vários componentes que estão presentes em um sistema desse tipo.

Na página 98, do seguinte livro, você poderá realizar uma leitura proveitosa sobre o assunto. LAMB, F. Automação Industrial na Prática - Série Tekne. Porto Alegre: AMGH, 2015.

Sem medo de errar

Um fato que você precisa refletir é sobre a necessidade de lidar com eventos que não foram programados.

Para isto, você precisará utilizar o conceito de reatividade, ou seja, técnicas de controle capazes de permitir que o sistema que está sendo controlado interaja com o ambiente de forma adequada.

Portanto, como resolver problemas de interação do robô com o meio ambiente em que ele atua? Existe a necessidade de planejar um sistema de sensoriamento de aproximação com a peça. Como isto pode ser planejado? Quais são as possibilidades existentes?

Portanto, o problema consiste em:

- Controlar a aproximação do robô com relação a uma peça que será manipulada por ele.
- Elencar as possibilidades em termos de estratégias de controle que podem ser implantadas.

Para a solução deste problema, é possível estabelecer uma sistemática que passa a ser descrita na sequência.

Primeira decisão – definição dos recursos apropriados.

- Como está sendo colocado o problema de interação do robô com o seu campo de trabalho, você precisará recorrer aos sensores externos.

Segunda decisão – como utilizar os recursos.

- Os sensores externos podem atuar em três contextos:

1. Sensoriando à presença – se o problema for simplesmente a verificação da presença de uma peça, poderá ser utilizado um sensor indutivo se as peças forem metálicas ou um sensor óptico de infravermelho difuso peças sejam não metálicas.

2. Sensoriando à distância – neste caso, você pode utilizar sensores de ultrassom, caso não precise fazer medições abaixo de 70cm nem acima de 10m. Se seu problema exigir precisão à distâncias curtas é melhor utilizar sensores ópticos, com a técnica de triangularização, que apresenta uma boa precisão e seu alcance será de até 50mm. Se seu caso for o de medir distâncias maiores de até 20m, utilize a técnica de tempo de voo com sensor óptico e luz não coerente.

3. Sensoriando o agarramento – se for o caso de controlar a pressão que a garra exerce, note que não é o caso de aplicar robôs SCARA, como o que foi estudado na unidade anterior. Neste caso, você terá que optar por um robô manipulador que apresente controle contínuo da pressão da garra e, uma das alternativas, é utilizar borracha condutora de resistividade variável. Neste caso, utilize uma Ponte de Wheatstone associada a um amplificador para detectar as variações de resistividade com maior precisão (conforme ilustrado para o caso dos extensômetros).

- Por fim, lembre-se de que para a realização deste controle, você estará implementando a malha de controle externa, conforme já ilustrado na Figura 3.5.

Avançando na prática

Sistema de visão para inspeção

Descrição da situação-problema

Suponha que você seja responsável por liderar uma equipe técnica, para desenvolver um sistema de visão, que deve ser usado para realizar um processo de inspeção em uma linha de montagem, para verificar se o processo está ocorrendo dentro dos padrões de tolerância.

Para isso, conforme afirmado inicialmente, a equipe deseja utilizar um sistema de visão, mas está com receio do grau de dificuldade que poderá enfrentar.

Como você procederia para explicar quais são os fatores que podem causar complexidade para este processo?

Resolução da situação-problema

Os fatores que contribuem para tornar este processo de implantação de um sistema de visão complexo são:

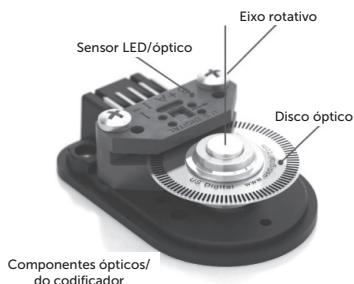
- Peças que apresentam muitos detalhes, como se fossem esculpidas.
- Variações na intensidade de iluminação sobre as faces das peças que serão inspecionadas.
- Decidir o que existe em termos de um conjunto de variações em uma imagem, considerado irrelevante, frente a outro conjunto que deve ser considerado importante.

A equipe deve avaliar, cautelosamente, cada possibilidade e decidir a respeito.

Faça valer a pena

1. Os sensores são transdutores utilizados para enviar sinais ao sistema de controle do robô.
Para fornecer esta diversidade de sinais, existem categorias de sensores que podem estar presentes em sistemas robóticos: _______, _______, _______, e _______.
Assinale a alternativa que preencha corretamente as lacunas.
a) Força; proximidade; visão; voz.
b) Tato; distância; visão; força.
c) Tato; proximidade; visão; voz.
d) Pressão; proximidade; calor; voz.
e) Tato; força; visão; voz.

2. Os sensores podem estar distribuídos na estrutura de um robô da seguinte forma:
I. Sensores internos que controlam somente a posição, velocidade e força.
II. Sensores internos que controlam a posição, aceleração e força.
III. Sensores externos que controlam a abertura e o fechamento da garra, no caso de produtos frágeis.
Assinale a alternativa que associa corretamente V(verdadeiro) ou F(falso) às afirmações de I a III.
a) V-V-V.
b) F-V-V.
c) V-F-V.
d) V-V-F.
e) F-F-V.

3. Considere a Figura a seguir:
Codificador

Fonte: Lamb (2015, p. 95).

Quanto ao funcionamento deste dispositivo, você pode afirmar que:
a) Todos os codificadores são de estrutura aberta.
b) Esses dispositivos detectam a posição, mas não são capazes de detectar a orientação.
c) Existem dois conjuntos de ranhura em fase para detectar a posição.
d) Os pulsos A e B do codificador sempre estão em quadratura.
e) Os dois conjuntos de ranhura não podem estar em fase para detectar a posição.

Seção 3.2

Teleoperação

Diálogo aberto

Você está sendo capacitado a entender como aprimorar a interação de um sistema robótico com o ambiente em que ele atua e o seu próximo desafio será entender como melhorar a interação entre um operador humano e um sistema robótico para realizar as atividades que precisam ser executadas em um sistema de produção.

Nesta seção, o foco o desenvolvimento de seu potencial para resolver o seguinte problema: uma vez implantados sistemas robóticos em um sistema de produção, existe alguma forma de melhorar a questão de diagnóstico de mau funcionamento e manutenção desses sistemas? Existem formas mais eficazes e eficientes para supervisionar esses sistemas para melhorar a produção?

Para atuar nesse sentido, você será envolvido com a aprendizagem de teleoperação robótica, arquitetura física padrão e arquitetura lógica correspondente.

Além disso, aprenderá diferentes aplicações para esta tecnologia e verá que uma delas é voltada para a manutenção de sistemas de produção, podendo supervisionar áreas críticas para manutenção de sistemas de produção.

Você será ainda instruído a respeito de uma arquitetura básica de um sistema de teleoperação para reconhecer seus módulos fundamentais e verá também como estabelecer uma métrica para avaliar a adequação de uma proposta de sistema de teleoperação para ser utilizada na solução de um determinado problema.

Bom trabalho!

Não pode faltar

Sistemas de teleoperação em robótica

Conforme você viu na Seção 1.1, a característica marcante de um robô autônomo é que ele atua com base em suas decisões e não depende de interação com um operador humano (MATARIĆ, 2014).

Por outro lado, existem várias máquinas que são comandadas por meio de operadores humanos e que, portanto, não são autônomas. Estas que são controladas externamente por operadores são denominadas máquinas teleoperadas. Em grego, *tele* significa "distante". Portanto, teleoperação significa operar um dispositivo a distância.

É importante observar que, a rigor, estas máquinas não são exemplos de robôs.

Nesse contexto, qual é a limitação que elas apresentam?

Elas dependem da intervenção de operadores humanos, para gerarem determinados eventos, mas não dependem completamente dessas intervenções, para executarem as funções para as quais são destinadas.

Matarić (2014) faz uma reflexão sobre o significado de controle remoto e teleoperação na área de robótica, esclarecendo que estes são conceitos diferentes.

De forma específica, o termo teleoperação associa-se ao conceito de controlar um manipulador ou veículo de estrutura complexa para realizar uma determinada tarefa. O termo controle remoto, por sua vez, é utilizado no contexto de controle de movimentação de dispositivos que são de baixa complexidade, por exemplo, o acionamento de pequenos brinquedos acionados por bateria.

Nesse contexto, observa-se que o termo controle remoto não se aplica em sistemas robóticos.

Teleoperar um manipulador ou um sistema robótico complexo que seja móvel é uma atividade complicada que implica na existência de um determinado grau de habilidade para realizá-la.

As razões que justificam essa afirmação podem ser resumidas em três características presentes nesses sistemas (MATARIĆ, 2014):

- Complexidade do manipulador – conforme estudado na Unidade 1, um sistema robótico pode ter vários graus de liberdade. Quanto maior o número de graus de liberdade presentes no manipulador, mais complexo será o sistema de controle para definir a trajetória deste.

- Interface limitada – para o operador interagir com um manipulador, o instrumento básico era um joystick, sendo este a ferramenta com a qual a teleoperação poderia ser realizada.

Entretanto, um joystick torna-se limitado para que o operador comande um manipulador que tenha sete graus de liberdade.

- Sensoriamento limitado – para que o operador interaja com o meio em que o sistema robótico está atuando, faz falta a ausência de sensação tátil capaz de perceber a presença de objetos no campo de ação do robô.

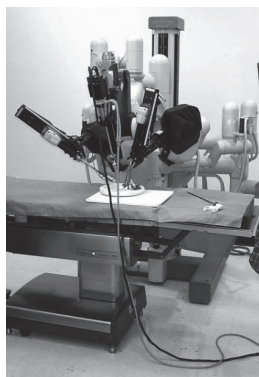
Ainda que existam essas limitações, há um conjunto expressivo de aplicações complexas que se baseia na teleoperação:

- Viagens espaciais – a Figura 3.7 mostra a tecnologia espacial que, atualmente, existe associada à teleoperação. Nesta figura está ilustrado o manipulador Canadarm2, utilizado para compor o MMS (Sistema Móvel de Serviço), para realizar serviços de manutenção e construção no espaço.

Figura 3.7 | Astronauta operando no braço móvel Canadarm2

Fonte: <https://www.flickr.com/photos/nasacommons/33057360990>. Acesso em 17 jun. 2017.

- Cirurgia assistida por robôs – pode ser aplicada a diferentes situações, como cirurgia do coração, do cérebro, entre outras. A Figura 3.8 ilustra um modelo de robô (Robô da Vinci) utilizado para intervenções cirúrgicas por laparoscopia.

Figura 3.8 | Exemplo de robô para aplicações cirúrgicas

Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Laproscopic_Surgery_Robot.jpg>. Acesso em 17 jun. 2017

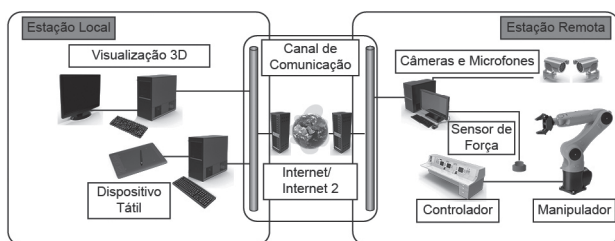
Existem várias outras aplicações, como na indústria nuclear, exploração submarina, construção, manutenção de instalações industriais, intervenção em desastres naturais, defesa civil, entre outras (BASAÑEZ, 2015).

Portanto, você pode verificar que a teleoperação pode ser somada à autonomia para realizar o controle de sistemas robóticos, de tal modo que operadores humanos podem comandar estes sistemas, mas não precisam executar o controle contínuo destes.

Arquiteturas de controle

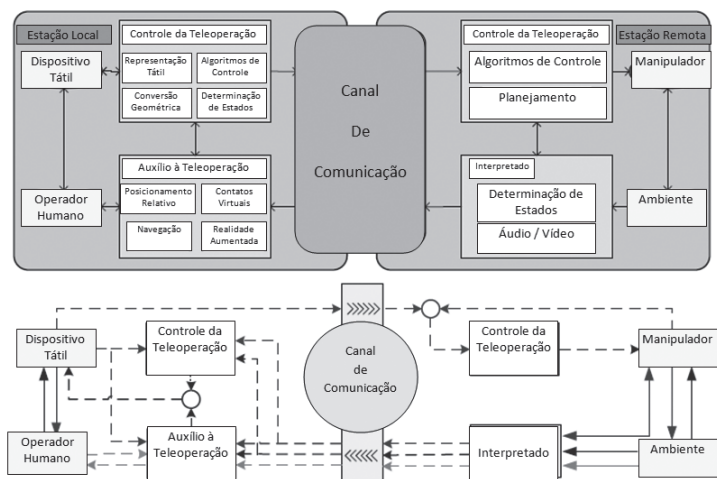
A Figura 3.9 apresenta os componentes básicos de uma arquitetura física que descreve como é um sistema de teleoperação robótica. Nesse contexto, têm-se:

- Estação local – com os seguintes recursos:
- Possui uma interface gráfica com visualização 3D para que o operador possa monitorar.
- Possui um dispositivo tátil para que o operador possa atuar.
- Estação remota – com os seguintes recursos:
- Câmeras e microfones para captura de sinais para gerar os recursos de monitoração necessários.
- Controlador do sistema robótico e sensor de força para reproduzir as ações de atuação geradas pelo operador.

Figura 3.9 | Modelo dos componentes físicos presentes em um sistema de teleoperação

Fonte: adaptada de Besañez (2015, p. 13).

A partir do modelo descrito na Figura 3.9, pode-se obter uma forma que descreve os módulos em termos de arquitetura lógica envolvida

com este cenário. A Figura 3.10 descreve, em detalhes, os diversos módulos presentes nesta arquitetura e serve para ter uma noção da complexidade destes sistemas.

Figura 3.10 | Arquitetura lógica de um sistema de teleoperação

Fonte: adaptada de Basañez (2015).

Nesta arquitetura, é importante observar, a presença de um módulo que representa os algoritmos de controle com a função de garantir que os comandos efetuados pelo operador sejam realizados de forma efetiva no sistema robótico.

Veja no quadro Exemplificando os principais exemplos de métodos de controle que podem ser aplicados na teleoperação robótica.

Exemplificando

É importante mostrar quais são os métodos de controle que podem ser aplicados para a realização da teleoperação em um sistema robótico.

De acordo com Basañez (2015), têm-se:

1. Controle unilateral.

a. O manipulador local gera as especificações de posição e velocidade para as malhas de controle reproduzirem este comportamento no manipulador remoto.

b. Portanto, a realimentação é de posição e velocidade.

2. Controle bilateral.

a. Neste método o operador movimenta o manipulador local que deve transmitir um sinal de controle para o manipulador remoto, via canal de comunicação, para que este possa interagir com o ambiente.

b. Esta ação do manipulador remoto, por sua vez, envia um sinal para o manipulador local ser capaz de reproduzir a respectiva ação remota, realimentando o operador.

c. Existe realimentação de posição do manipulador remoto para o local ou, então, pode existir realimentação de posição e força.

3. Controle coordenado.

a. Neste caso, existem malhas de controle no manipulador remoto que podem ser ativadas em situações em que o operador se torna inoperante para controlar este manipulador diretamente.

b. Isto acontece quando ocorrem problemas de atraso de propagação dos sinais nos sistemas de comunicação entre as partes local e remota.

4. Controle supervisório.

a. O manipulador remoto é capaz de realizar suas tarefas de maneira praticamente autônoma.

b. Neste caso, o operador atua supervisionando o sistema por meio de sinais de comando de alto nível para que o robô os execute.

Um dos grandes problemas que podem afetar um sistema de teleoperação com controle bilateral é a questão de retardos na transmissão, que podem comprometer a estabilidade do sistema.

Como você poderia solucionar este problema?

Em que situações é mais crítica?

Realidade Aumentada (RA) pode ser algo positivo que contribua para a solução do problema?

Conceito de web service

Para a realização de processos produtivos em um sistema de produção, você precisa aplicar uma técnica para integrar os recursos necessários para a execução dos respectivos processos.

Em Wieczorek (2014) é utilizada a técnica Robot Operating System (ROS), um sistema que resolve a questão de integrar diferentes tecnologias, que utilizam diversos protocolos de comunicação, estabelecendo um meio de comunicação entre elas. Este meio é conhecido como middleware. Neste contexto, ROS foi desenvolvido para ser um sistema operacional de código aberto para sistemas robóticos, oferecendo este ambiente um conjunto de recursos computacionais, na forma de bibliotecas, que permitem a reutilização tanto em termos de programas quanto de hardware. Esta capacidade de integração ocorre devido a seu papel de interface de comunicação que torna o hardware transparente quando é executado o fluxo de informações necessárias para execução dos processos produtivos.

A Figura 3.11 esboça um modelo conceitual de como pode ser aplicada uma visão de interpretar o sistema de produção a partir de seus recursos, ou seja, em vez de visualizar o sistema a partir dos processos produtivos que são realizados, a perspectiva passa a ser o conjunto de recursos e suas funcionalidades para executar um conjunto de processos.

A implementação de uma solução de integração desta natureza, é capaz de lidar com diferentes recursos, utilizando diferentes protocolos de comunicação e que apresentam diversos níveis de abstração em termos de ações, operações, funções e tarefas que podem realizar.

Figura 3.11 | Visão orientada a recursos

Fonte: adaptada de Wieczorek (2014, p. 1669).

O meio utilizado para suportar esta heterogeneidade foi uma abordagem que se baseia na especificação dos serviços que estes recursos podem oferecer. Para implementar este conceito utilizou-se da sistemática de funcionamento de uma web service (serviços na web) em que a comunicação é realizada a partir da troca de informações baseadas em requisições e respostas. Nesse contexto, pode ser gerado um componente que realiza o serviço de organizar os dados que devem fluir para trocar informações entre os dispositivos que estejam vinculados.

Pesquise mais

O uso de web services é muito interessante e apresenta uma vasta aplicação para tornar possível a integração de diferentes tecnologias. Este é um princípio básico que faz parte do conceito de interoperabilidade de sistemas presente na tecnologia atual.

Por este motivo, recomenda-se a leitura de como são construídos web services no livro *Desenvolvimento de Software III: Programação de Sistemas Web Orientada a Objetos em Java*, capítulo 7, disponível em: <https://biblioteca-virtual.com/detalhes/parceiros/5>. Acesso em: 14 ago. 2017.

Interface com o usuário

Por meio de uma interface adequada, os operadores podem trocar informações com os robôs e realizar o que pode ser chamado de controle colaborativo. Nesse contexto, a autonomia do robô é aperfeiçoada pela interação com o operador, potencializando ações de reatividade que podem ser executadas de acordo com as necessidades de cada momento.

Veja como é importante saber que existe uma métrica que pode ser aplicada para avaliar um modelo de interação entre operador e robô. De acordo com Steinfield et al. (2006), esta métrica está estruturada em cinco categorias:

- Navegação – a tarefa é mover o robô de um ponto até outro e como lidar com eventos adversos que podem ocorrer no ambiente.
- Percepção – apresenta como perceber e compreender como agir no ambiente para identificar objetos, para busca, etc.
- Gerenciamento – tem como objetivo coordenar as ações

humanas e de robôs.

- Manipulação – envolve a interação do robô com o ambiente por meio de seu efetuador.
- Social – apresenta tarefas que implicam em interação social.

A utilidade desta métrica está em identificar características, que devem ser avaliadas para a especificação de interface entre operador e robô.

É importante você saber também que quando se está analisando interfaces, há uma questão voltada para quais são os possíveis modelos de interação entre o operador e o manipulador (ROMANO, 2002):

- Interação mestre-escravo – modelo básico em que o operador utiliza recursos visuais para operar o manipulador, podendo ter realimentação de força.
- Interação por telepresença – tem como objetivo que o operador se sinta imerso no local de trabalho do manipulador, utilizando modelos do tipo exoesqueletos para simular os movimentos.
- Interação professor-aluno – neste caso o operador assume a condição de professor e o manipulador apresenta um determinado nível de inteligência para aprendizagem.
- Interação supervisor-companheiro – nesta situação, o operador é um supervisor e o manipulador não é um simples copiador das ações daquele. Este é um modelo de controle colaborativo em que o manipulador incorpora precisão por meio de processamento computacional.
- Interação com ambiente totalmente modelado – as ações são previsíveis, podendo ser repetitivas ou variantes.
- Interação com ambiente parcialmente modelado – caso em que nem todas as tarefas podem ser previstas de forma detalhada.
- Interação em ambiente remoto desconhecido – neste caso, é fundamental a supervisão do operador.

Portanto, não se esqueça de que o potencial de um sistema de teleoperação está centrado no controle colaborativo entre operador e sistema robótico.

Sem medo de errar

Seu desafio é melhorar a interação entre um operador humano e um sistema robótico para realizar as atividades que precisam ser executadas em um sistema de produção.

Nesta seção, o foco será desenvolver seu potencial para que você seja capaz de avaliar a aplicação de teleoperação para solução de problemas que melhorem a produtividade, segurança e condições de manutenção dos sistemas de produção por meio desta tecnologia.

1º Passo: saber selecionar os pontos que requerem teleoperação.

2º Passo: saber identificar o modelo de interação que se deseja.

3º Passo: saber especificar os requisitos para as interfaces.

No primeiro aspecto você aplica o conceito de teleoperação:

- Avaliar os processos em que o sistema robótico necessita de um sistema de controle colaborativo, ou seja, o sistema robótico precisa ser teleoperado.

No segundo aspecto, você deve avaliar qual o tipo de interação entre operador e manipulador é o mais adequado, levando em consideração o esforço computacional que você tem disponível e quanto o ambiente do manipulador remoto é previsível. Nesse contexto, analise e verifique em qual das situações se enquadra sua solução:

- Interação mestre-escravo.
- Interação por telepresença.
- Interação professor-aluno.
- Interação supervisor-companheiro.
- Interação com ambiente totalmente modelado.
- Interação com ambiente parcialmente modelado.
- Interação em ambiente remoto desconhecido.

No terceiro aspecto, considere as cinco características que podem ser aplicadas para estabelecer uma métrica:

- Navegação – a tarefa é mover o robô de um ponto até outro e saber como lidar com eventos adversos.
- Percepção – a tarefa é perceber e compreender como agir no ambiente para identificar objetos.

- Gerenciamento – tem-se como objetivo coordenar as ações humanas e de robôs.
- Manipulação – envolve a interação do robô com o ambiente por meio de seu efetuador.
- Social – apresenta tarefas que implicam em interação social.

Avançando na prática

Ambientes não estruturados

Descrição da situação-problema

Uma das questões complexas de se resolver é quando o manipulador interage com ambientes não estruturados e precisa realizar tarefas de manipulação de objetos.

Você que é responsável por planejar soluções de automação utilizando sistemas robóticos, como especificaria uma forma de interação entre um operador e este manipulador?

Resolução da situação-problema

1º Passo: saber selecionar os pontos que requerem teleoperação.

Como se trata de um ambiente não estruturado, a autonomia do robô não é suficiente para que ele possa realizar suas tarefas neste ambiente. Portanto, o operador terá de interagir e, neste caso, a teleoperação é oportuna.

2º Passo: saber identificar o modelo de interação que se deseja.

Como o ambiente é não estruturado, isto significa que ou pode ser parcialmente modelado ou desconhecido.

Portanto, as possibilidades são:

- Interação com ambiente parcialmente modelado.
- Interação em ambiente remoto desconhecido.

3º Passo: saber especificar os requisitos para as interfaces.

Como o manipulador irá interagir com objetos neste ambiente, dessa forma, a característica notável a ser tratada é:

- Manipulação – envolve a interação do robô com o ambiente por meio de seu efetuador.
- Avaliar o risco de colisão com o ambiente e técnicas para

mapear esta situação.

Faça valer a pena

1. Teleoperar um manipulador ou um sistema robótico complexo que seja móvel é uma atividade complicada que implica na existência de um determinado grau de habilidade para realizar tal tarefa.
Neste contexto, assinale a alternativa correta:
a) A interface para teleoperação é ilimitada.
b) Quanto maior o número de graus de liberdade presentes no manipulador, mais complexo será o sistema de controle para definir a trajetória do mesmo.
c) Um joystick não é um instrumento limitado para teleoperar.
d) É simples para o operador usar um joystick para comandar um robô de sete graus de liberdade.
e) O número de graus de liberdade de um manipulador é inversamente proporcional à complexidade de seu sistema de controle.

2. Você pode verificar que a __________ pode ser somada à _________ para realizar o controle de sistemas robóticos, de tal maneira que operadores humanos podem comandar estes sistemas, mas não precisam executar o controle ________ destes.
Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas.
a) Automação; autonomia; contínuo.
b) Computação; automação; discreto.
c) Robótica; autonomia; contínuo.
d) Teleoperação; autonomia; contínuo.
e) Teleoperação; automação; discreto.

3. Estação remota é um dos componentes básicos de uma arquitetura física que descreve como é um sistema de teleoperação robótica, que apresenta os seguintes recursos:
I. Câmeras.
II. Microfones.
III. Controlador do sistema robótico.
IV. Sensor de força.
Escolha a alternativa que atribui corretamente V(erdadeiro) ou F(also) às afirmações anteriores.
a) V-F-V-V.
b) V-V-V-V.
c) V-V-F-V.
d) V-V-V-F.
e) F-V-V-V.

Seção 3.3

Classe de robôs móveis

Diálogo aberto

Nesta seção, você está concluindo mais uma unidade. Com ela, aprendeu a respeito de como enfrentar o desafio de ser um gestor responsável por investigar os recursos tecnológicos que permitem que robôs possam interagir com seu ambiente de trabalho e como podem ser potencializadas as ações de interação do elemento humano com os robôs de forma segura e que permita supervisionar as suas operações.

Resta agora solucionar o problema de como a flexibilidade dos sistemas robóticos permite a implantação de soluções com maior mobilidade nos arranjos físicos nos sistemas de produção.

Um aspecto fundamental que deve ser avaliado é a flexibilidade do transporte de itens para integrar os diferentes centros de custo presentes em um sistema de produção. Nesse contexto, cabe uma pergunta: como isso pode ser alcançado, visto que os processos têm ciclos de vida cada vez mais curtos e mudanças dessa natureza provocam alterações nas rotas de produção?

Para que você possa resolver este problema, será apresentada uma evolução dos sistemas robóticos móveis, e como os Veículos Autônomos de Transporte (AGVs) podem ser utilizados para compor um sistema de produção. Na sequência, será apresentado o conceito de Robótica Móvel Distribuída e, como exemplos de classes de robôs móveis, serão apresentados os robôs submarinos e os aéreos.

Bom trabalho!

Não pode faltar

Evolução dos robôs móveis

Para que você possa compreender a evolução dos robôs móveis no mundo, primeiramente, deve-se saber que, em 1942, os EUA decidiram construir uma bomba atômica e um dos grandes desafios consistia em desenvolver uma tecnologia para manipular os materiais

radioativos, como urânio e plutônio, utilizados para a fabricação desta tecnologia (ROMERO et al., 2015).

Como primeira tentativa, utilizou-se luvas e o material ficava encapsulado em uma caixa de vidro. Dessa forma, as luvas ficavam acopladas à caixa para que os operadores pudessem manipular o material (ROMERO et al., 2015).

A limitação desta tecnologia é que os materiais não poderiam ser altamente radioativos. A primeira solução baseou-se no desenvolvimento do primeiro telemanipulador da história. Conforme visto anteriormente, quando você estudou teleoperação na Seção 3.2, foi desenvolvido um sistema em que um mecanismo de manipulação estava presente no ambiente do operador, enquanto existia um manipulador para ser utilizado em contato direto com o material radioativo.

Uma das grandes limitações dessa proposta era a dificuldade em gerar um sistema de controle unilateral ou bilateral com precisão, fator este que causava ineficiência no processo.

A Segunda Guerra Mundial foi o estopim para o início da corrida armamentista, utilizando a energia nuclear como paradigma. Além disso, foi percebida a importância do uso de recursos nucleares em diferentes áreas tecnológicas (ROMERO et al., 2015). Com isso foi aperfeiçoado o sistema de teleoperação conforme estudado na seção anterior.

Esta evolução dos sistemas robóticos provocou, em 1954, o desenvolvimento de veículos autônomos de transporte denominados AGV (Automatic Guided Vehicle).

Um AGV é um veículo utilizado para transportar materiais em um ambiente de produção. Este veículo permite flexibilizar as rotas de transporte e integrar diferentes estações de trabalho para que vários processos de fabricação de produtos heterogêneos possam ser realizados em um mesmo sistema de produção.

Uma vez que esses veículos são autônomos, a tarefa de navegação é complexa. Nesse contexto, um AGV precisa ser acompanhado de uma infraestrutura que pode envolver cabos magnéticos no solo. Entretanto, se esta tecnologia de controle for aplicada, qualquer mudança de trajetória implica em reformas de infraestrutura para suportar as mudanças.

Outro aspecto negativo a respeito do uso de fitas coladas no chão é que estas podem ser danificadas.

Mais um ponto importante que merece ser destacado é que um AGV precisa ser capaz de identificar a presença de objetos, quando estiver realizando a sua trajetória. Caso este evento ocorra, um AGV precisa ser capaz de soar um alarme para que o obstáculo seja removido e ele possa continuar a executar a sua tarefa de transporte.

Portanto, a partir de uma reflexão sobre a evolução de robôs móveis, percebe-se a necessidade de desenvolver soluções tecnológicas que permitam uma autonomia de navegação, de tal forma que o sistema robótico móvel seja reativo, isto é, capaz de interagir com o ambiente e reagir quando um evento inesperado ocorrer.

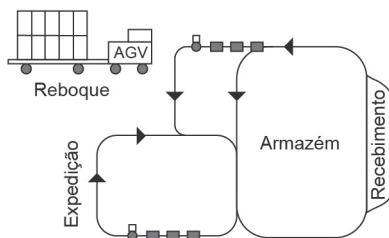
A seguir, você verá como são os AGVs atuais e como os robôs móveis evoluíram para serem utilizados embaixo d'água e em espaços aéreos.

Veículos Autônomos de Transporte (AGVs)

O AGV é um veículo autônomo capaz de realizar transporte de itens. A seguir, veja as características principais destes sistemas robóticos:

- São veículos movidos por meio de motores elétricos para o transporte de materiais ou peças entre estações de trabalho presentes em um sistema de produção.
- Utilizam baterias recarregáveis como fonte de energia para acionamento de seus atuadores e sistema de navegação.
- Podem ter sistema de carga e descarga por meio de manipuladores de baixa complexidade que se utiliza de três graus de liberdade.
- Apresentam um sistema computadorizado embarcado para controle de navegação e de execução das rotas selecionadas.

A próxima figura apresenta um exemplo de aplicação de AGV.

Figura 3.12 | AGV aplicado ao transporte em um sistema de produção

Fonte: Filho (2014, p. 94).

Em termos de aplicação, dependendo da necessidade, os AGVs podem ser de diferentes modelos (LUGLI, 2016):

- Para cargas leves ou pesadas.
- Empilhadeira.
- Rebocador.
- Para linha de montagem.
- Tipo plataforma.
- De transferência de carga.

A questão fundamental em um AGV é seu sistema de guia para sua trajetória ser executada. De uma forma geral, têm-se as seguintes possibilidades (FILHO, 2014):

- Ótico: os caminhos são gravados no chão utilizando tintas adequadas.
- Fotossensores: utilizados para identificar a rota a ser seguida.
- Fio guiado: neste caso, fios energizados são enterrados no solo e, por meio de sensores magnéticos acoplados no AGV, a rota a ser seguida pode ser identificada.
- Inercial: trata-se de um sistema reativo em que um sonar é utilizado para detectar obstáculos e um computador de bordo processa as informações necessárias para guiar o veículo por uma rota, desviando dos obstáculos.
- Laser: o ambiente é tagueado (utilizam-se tags por meio de código de barras que informam a posição) e o veículo emite feixe de laser contra os refletores (tags) para se guiar ao longo da rota. O computador de bordo é utilizado para processar as informações e estabelecer a rota desejada.
- Infravermelho: utiliza o mesmo princípio de navegação que faz uso de laser, variando apenas o meio de transmissão.

Sistemas de produção que utilizam AGVs precisam estabelecer critérios para garantir a segurança dos trabalhadores.

Estes critérios devem ser especificados para que os AGVs possam ser projetados de tal forma que garantam a presença de dispositivos voltados para a segurança, e, sejam contemplados sistemas de controle que

possam alterar o comportamento do veículo, mediante a ocorrência de um evento inesperado, como, o surgimento de um obstáculo na via.

Nesse contexto, quais seriam os critérios de segurança que devem ser contemplados para o projeto de um AGV?

Para a definição da estratégia de controle para AGVs, pode ser utilizada uma arquitetura piramidal, conforme ilustrada na Figura 3.13. Observando-se esta figura, identifica-se uma estrutura de controle para navegação distribuída em quatro níveis hierárquicos:

- Nível 4: é o nível mais alto de controle, no qual é executado o planejamento e a geração de trajetórias.
- Nível 3: refere-se à execução dos algoritmos de controle que definem a condução do veículo, ou seja, é responsável pelo seguimento ou rastreamento de trajetórias.
- Nível 2: é responsável pela execução do controle da dinâmica de movimentação, ou seja:
  - Controle da dinâmica lateral e longitudinal no caso de veículos dotados de rodas e aerodeslizadores, ou;
  - Controle da dinâmica de rotação no caso de veículos aéreos e subaquáticos.

Portanto, neste nível, o objetivo é controlar as velocidades longitudinal e lateral do AGV, para manter o comportamento desejado diante da atuação de forças externas que podem interagir com o veículo e causar uma perturbação em seu comportamento.

- Nível 1: consiste no sistema de controle dos sensores e atuadores que fazem parte do AGV.

Robótica móvel distribuída.

A partir do momento em que se utiliza AGVs, o desafio inerente ao controle de um grupo de veículos dessa natureza é como desenvolver sistemas com múltiplos robôs móveis e que sejam capazes de interagirem para cumprir objetivos em conjunto.

Nesse contexto, surge a Robótica Móvel Distribuída (RMD), tendo como foco desenvolver AGVs capazes de operarem em conjunto, de terem percepção do ambiente, raciocínio, planejamento e aprendizado (ROMERO et al. 2014).

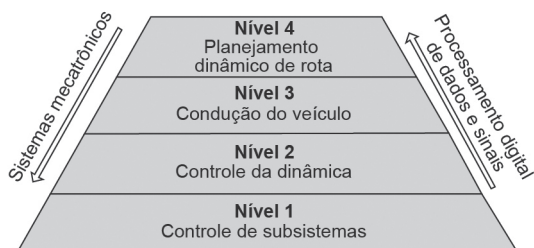
De acordo com Romero et al. (2014), alguns aspectos motivadores para se adotar RMD para a automação de sistemas são:

• Necessidade: são casos em que um único robô não é capaz de realizar certas tarefas. A colaboração de outros sistemas robóticos viabilizam as tarefas.

• Desempenho: quando as tarefas podem ser distribuídas entre vários robôs para que seja executada, por exemplo, inspeção de uma área.

• Tolerância às falhas: a existência de várias unidades de um robô permite que, no caso de uma unidade falhar, a outra pode assumir as tarefas.

• Complexidade e flexibilidade: podem existir aplicações em que seja necessário imputar mais flexibilidade operacional e funcional ao sistema robótico, o que causaria mais complexidade e custo que, neste caso, seria mais viável utilizar um grupo de robôs com funcionalidades específicas.

Figura 3.13 | Níveis de controle de um AGV

Fonte: Romero et al. (2014).

Exemplificando

Considere a análise de um sistema de AGVs (GROOVER, 2011).

O cálculo do tempo de ciclo total por entrega por veículo T_c é dado por:

$$T_c = T_L + \frac{L_d}{v_c} + T_U + \frac{L_e}{v_o} \qquad (3.1)$$

Onde:

- T_L é o tempo de carga na estação.
- L_d é a distância entre as estações de carga e descarga.
- v_c é a velocidade do AGV com carga.
- T_U é o tempo de descarga na estação.
- L_e é a distância entre a estação de descarga e o novo ciclo de transporte.
- v_o é a velocidade do AGV descarregado.

Utilizando como unidade de tempo minutos e considerando um intervalo de 60 min, tem-se que o tempo disponível de cada veículo é dado por:

$$AT = 60 \cdot A \cdot F_t \cdot E_w \quad (3.2)$$

Onde:

- A é o fator de disponibilidade entre]0,1].
- F_t é o fator de tráfego entre]0,1].
- E_w é a eficiência do trabalhador entre]0,1].

A taxa de entrega por veículo por hora será:

$$R_{dv} = AT/T_c \quad (3.3)$$

Por sua vez, a carga de trabalho total de um sistema de produção será:

$$WL = R_f \cdot T_c \quad (3.4)$$

Onde:

- R_f é o número total de entregas por hora e T_c é dado pela equação (3.1).

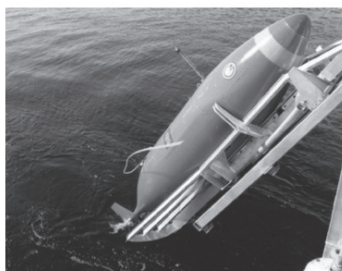
Portanto, para dimensionar-se o número n_c de AGVs necessários para um sistema de produção, tem-se:

$$n_c = WL/AT \quad (3.5)$$

Robôs submarinos

Para a realização de tarefas envolvendo exploração submarina, os mais utilizados são os veículos denominados ROVs (Remote Operated Vehicles), ou seja, veículos submersos operados remotamente.

Normalmente, estes veículos são operados a partir da superfície de um navio, existindo um cabeamento apropriado para comandá-los. Estes cabos são utilizados para transmitir energia para acionamento do ROV , além de pares de fios para transmissão de sinais de vídeo para visualização do ambiente em que o dispositivo se encontra. A limitação e o alcance do robô podem ser tidas como limitações causadas pela presença dos cabos. Nesse contexto, existem os AUVs (Autonomous Underwater Vehicle), que são mais sofisticados, não dependendo de conexão de cabos para controle remoto. A Figura 3.14 ilustra o AUV "Hugin" utilizado para dar suporte à exploração de petróleo e gás natural *offshore*.

Figura 3.14 | O AUV "Hugin"

Fonte: Romero et al. (2014).

As principais aplicações de ROVs na exploração de ambientes subaquáticos são (ROMANO, 2002):

- Investigação visual de cascos submersos de navios.
- Investigação visual de plataformas submersas.
- Controle de poluição das águas.
- Monitoração da vida marinha.
- Monitoração de depósitos de resíduos nucleares.
- Manutenção de plataformas marítimas.
- Inspeção de oleodutos e gasodutos submersos.
- Inspeção de barragens.
- Pesquisas exploratórias na orla marítima.

Robôs aéreos

Os robôs aéreos são denominados VANTs (Veículos Aéreos Não Tripulados) e englobam sistemas robóticos capazes de voar de duas formas distintas (ROMERO et al., 2014):

- Voo vertical, a exemplo do que ocorre com os helicópteros e quadricópteros, conhecidos como VANTs de asas rotativas.
- VANTs de asas fixas na forma de aviões.
- Existem também os airships, balões que apresentam a vantagem de maior capacidade de permanência em voo.

A figura a seguir ilustra um exemplo de VANT.

Figura 3.15 | VANT em voo durante uma operação

Fonte: Romero et al. (2004).

Como principais aplicações temos: levantamento topográfico, monitoramento de tráfego nas cidades, atuação em áreas agrícolas, inspeção de linhas de transmissão e dutos, de forma geral, e suporte à vigilância para manutenção da segurança.

Sendo sistemas robóticos autônomos, estes devem ser capazes de:

- Mapear o ambiente de voo.
- Tomar decisões, independente de um operador humano, para cumprir a tarefa que lhe foi designada.

Atualmente, um VANT pode ser extremamente útil para situações em que aeronaves tripuladas geram custos elevados, ou então, podem ser situações em que haja risco de perda de vidas humanas.

Pesquise mais

O campo de aplicação da robótica móvel é imensurável.

Os drones são exemplos de que esta afirmação é verdadeira.

Você sabia que pesquisadores da Universidade da Califórnia desenvolveram robôs móveis capazes de usar sinais Wi-Fi para enxergar através das paredes?

O próximo passo é adaptar drones com a visão de raio-x para que possam investigar o ambiente interno de edifícios.

Leia mais sobre este assunto no *link* a seguir. Disponível em: <http://pcworld.com.br/noticias/2014/08/07/pesquisadores-preparam-drones-aereos-e-robos-com-visao-de-raio-x/>. Acesso em: 14 ago. 2017.

Sem medo de errar

Você é o gestor responsável pela solução do problema a respeito de como a flexibilidade dos sistemas robóticos permite a implantação de soluções com maior mobilidade nos arranjos físicos nos sistemas de produção.

Isto é fundamental para o caso em que existem vários processos que ocorrem de forma simultânea e que exigem o transporte de itens entre diferentes estações de trabalho, não sendo possível determinar a sequência de atendimento de cada transportador.

Portanto, como avaliar a flexibilidade do transporte de itens para integrar os diferentes centros de custo presentes em um sistema de produção, visto que os processos têm ciclos de vida cada vez mais curtos e mudanças dessa natureza provocam alterações nas rotas de produção?

Para que você possa resolver este problema, uma vez que se trata de um sistema de produção, aplique a técnica de análise de um sistema de transporte baseada em AGVs.

Para isso, siga os seguintes procedimentos:

1° Passo: calcule o tempo de ciclo total por entrega por veículo T_c por meio da equação (3.1), ou seja:

$$T_c = T_L + \frac{L_d}{v_c} + T_U + \frac{L_e}{v_o}$$

- v_o é a velocidade do AGV descarregado.

2° Passo: calcule o tempo disponível de cada veículo por meio da equação (3.2), ou seja:

$$AT = 60 \cdot A \cdot F_t \cdot E_w$$

3º Passo: calcule a taxa de entrega por veículo por hora por meio da equação (3.3), ou seja: $R_{dv} = AT/T_c$

4º Passo: calcule a carga de trabalho total de do sistema de produção por meio da equação (3.4), ou seja:

$$WL = R_f \cdot T_c$$

5º Passo: dimensione o número n_c de AGVs necessário para o sistema de produção por meio da equação (3.5), ou seja:

$$n_c = WL/AT$$

Realizando estes cálculos, você avalia como um sistema de AGVs pode ser adotado em um sistema de produção.

Avançando na prática

Análise do volume de trabalho

Descrição da situação-problema

Você é responsável pela gestão da automação de um sistema produtivo e precisa estimar o investimento necessário para implantar um sistema de transporte, utilizando AGVs, em um determinado sistema produtivo.

Considere que o tempo de ciclo total por entrega por veículo seja, em média, 5 min.

A demanda média de entregas por hora é de 50.

Considere que o fator de disponibilidade dos AGVs é de 0,90 e que o fator de tráfego é 0,85.

Resolução da situação-problema

Uma estimativa do volume de trabalho será dada por:

$$WL = R_f \cdot T_c = 50 \cdot 5 = 250 \text{ min/hora}$$

Por sua vez, o tempo disponível de cada veículo será:

$$AT = 60 \cdot A \cdot F_t \cdot E_w = 60 \cdot 0{,}90 \cdot 0{,}85 \cdot 1 = 45{,}9 \text{ min/hora}$$

Portanto, uma estimativa para o número de AGVs será:

$$n_c = WL/AT = 250/45{,}9 = 5{,}45$$

Por segurança, para evitar que o sistema apresente baixo rendimento, uma vez que a eficiência do trabalhador foi considerada 1, então recomenda-se um total de 6 AGVs.

Faça valer a pena

1. A questão fundamental em um AGV é seu sistema de guia para sua trajetória ser executada. Um dos sistemas guia é o ___________. Trata-se de um sistema reativo em que um sonar é utilizado para detectar ______________ e um computador de bordo processa as informações necessárias para guiar o veículo por uma ___________, desviando dos obstáculos.
Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas.
a) Infravermelho; obstáculos; rota.
b) Inercial; infravermelho; fita.
c) Inercial; obstáculos; fita.
d) Inercial; obstáculos; rota.
e) Laser; obstáculos; rota.

2. Na Robótica Móvel Distribuída (RMD), o foco é desenvolver AGVs capazes de operar em conjunto, sendo capazes de:
I. Ter percepção do ambiente.
II. Realizar o planejamento da trajetória.
III. Não envolver aprendizado.
Assinale a alternativa correta a respeito das afirmações anteriores:
a) Somente a afirmação I está correta.
b) Somente a afirmação II está correta.
c) Somente a afirmação III está correta.
d) Somente a afirmação III está incorreta.
e) Todas as afirmações estão corretas.

3. A partir do momento em que se utiliza AGVs, o desafio inerente ao controle de um grupo de veículos dessa natureza é como desenvolver sistemas com múltiplos robôs móveis e que sejam capazes de interagir para cumprir objetivos em conjunto.
Escolha a alternativa correta a respeito do cálculo de uma estimativa do tempo disponível para um AGV de um sistema de transporte de um sistema de produção:
a) É diretamente proporcional à sua disponibilidade.
b) É inversamente proporcional à eficiência do trabalhador.

c) Não depende do fator de tráfego.
d) É inversamente proporcional ao fator de tráfego.
e) Não depende da eficiência do trabalhador.

Referências

BASAÑEZ, L. **Avances en telerobótica y redes de robots,** 2015. Canal UNED, Espanha, 2015. Disponível em: <https://canal.uned.es/uploads/material/Video/26746/Conferencia_Luis_Basanez.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2017.

CAMARGO, V. L. **Elementos de automação**. São Paulo: Erica, 2014.

FILHO, G. F. **Automação de processos e de sistemas**. São Paulo: Erica, 2014.

LAMB, F. **Automação industrial na prática** - Série Tekne. Porto Alegre: AMGH, 2015.

GROOVER, M. P. **Automação industrial e sistemas de manufatura.** São Paulo, SP: Pearson, 2011.

LUGLI, A. B. et al. Desenvolvimento e Aplicação de um Veículo Autoguiado em Ambiente Industrial. In: CONGRESSO DE AUTOMAÇÃO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA SUCROENRGÉTICA, 4., São Paulo, 2016. **Anais**... São Paulo, 2016. Disponível em: <http://www.inatel.br/biblioteca/artigos-cientificos/2016/9066-desenvolvimento-e-aplicacao-de-um-veiculo-autoguiado-em-ambiente-industrial/file>. Acesso em: 27 jun. 2017.

MACHADO, R. P., et al. **Desenvolvimento de software III**: Programação de Sistemas Web Orientada a Objetos em Java - Série Tekne. Porto Alegre: Bookman, 2016.

MATARIĆ, M. J. **Introdução à robótica**, São Paulo: Editora Unesp/Blucher, 2014.

ROMANO, V. F. **Robótica industrial**: Aplicação na Indústria de Manufatura e de Processos, São Paulo: Edgard Blucher, 2002.

ROMERO, R. A. F. et al. **Robótica móvel**. Rio de Janeiro: Rio de Janeiro: LTC, 2014.

SOLOMAN, S. **Sensores e sistemas de controle na indústria.** 2. ed. LTC, 2012.

STEINFELD, A. et al., Common metrics for human-robot interaction. In: HUMAN-ROBOT INTERACTION CONFERENCE, 1., Salt Lake City, Utah/ USA, 2006. **Anais...** ACM: Salt Lake City, Utah/ USA, mar. 2006. p. 33-40.

WIECZOREK, I. et al. Integrando sistemas de automação em ambientes de manufatura distribuída usando ros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA, 20., Belo Horizonte, 2014. **Anais**... Belo Horizonte, 20 a 24 set. 2014. p. 1668-73.

Sistemática para o planejamento de aplicações de robôs industriais

Convite ao estudo

Você está responsável por rever a produtividade de um sistema de produção do setor automobilístico e, até o momento, foi capacitado para aplicar sistemas robóticos em sistemas de produção, associados a três questões fundamentais.

A primeira questão referiu-se à aplicação do conceito de robótica para promover a automação de sistemas e melhorar sua produtividade essencialmente.

A segunda questão contemplou o conhecimento detalhado de como lidar com sistemas robóticos para que sejam programados para desenvolver tarefas. Nesse contexto, você conheceu métodos para programação destes sistemas e como utilizar ferramentas computacionais que auxiliem no desenvolvimento de algoritmos para controlar a trajetória de robôs manipuladores.

A terceira questão abordou o fato de robôs terem um sistema de sensoriamento adequado para que possam interagir com o ambiente. Dessa forma, você compreendeu o conceito de sistemas reativos e como esta característica poderia ser utilizada para navegação de robôs móveis e o potencial da teleoperação.

Nesta última unidade, seu desafio será dominar sistemáticas para o planejamento de aplicações de robôs industriais. O objetivo é que você seja capacitado a desenvolver o planejamento para execução de projetos de automação, utilizando sistemas robóticos e, para isso, você aprenderá como desenvolver, de forma metódica, uma definição do escopo, a análise das necessidades e a verificação do desempenho esperado.

Para tanto, você terá de enfrentar os desafios associados a três contextos diferentes associados aos seguintes questionamentos.

Primeiramente, como você precisará proceder para avaliar a existência de atividades repetitivas que justificam o uso de um sistema robótico para automação em um sistema de produção? Seu foco deve ser a aplicação de robôs manipuladores, capazes de realizar processamento, e a questão de células de manufatura.

Em segundo lugar, como você deve proceder para avançar a uma análise detalhada de estabelecer critérios para a seleção de uma solução de sistemas robóticos para um sistema de produção? Considere também a questão de integração com os operadores.

Em terceiro lugar, como seria possível fazer uma avaliação quantitativa do sistema produtivo? É fundamental definir um procedimento para que antes de se desenvolver um projeto de automação que envolve sistemas robóticos, seja possível estimar o desempenho que o novo sistema de produção automatizado terá.

Dessa forma, espera-se que você possa concluir a capacitação básica necessária para a gestão de sistemas robóticos em sistemas de produção.

Bom trabalho!

Seção 4.1

Uso de robôs na indústria

Diálogo aberto

Na primeira seção desta unidade, seu desafio será dominar sistemáticas para o planejamento de aplicações de robôs industriais.

Você é o gestor responsável por desenvolver o planejamento para execução de projetos de automação, utilizando sistemas robóticos e, para isso, você terá de analisar, de forma metódica, o escopo do sistema de produção que está sendo contemplado, a análise das necessidades de automação e a verificação do desempenho esperado.

Para tanto, você terá de enfrentar o seguinte desafio: como proceder para avaliar a existência de atividades repetitivas que justificam o uso de um sistema robótico para automação em um sistema de produção? Considere o escopo em que você deve usar robôs manipuladores, capazes de realizar processamento, considerando células de manufatura.

Para resolver este problema, você aprender á avaliar um sistema de produção em termos de organização da produção (em lote, em massa ou *job shop*) e do cálculo do tempo de fabricação (MLT) para procurar otimizar por meio da utilização de sistemas robóticos, principalmente se existirem tarefas repetitivas que ainda não foram automatizadas.

Na sequência você aprenderá a identificar o arranjo físico de um sistema de produção (posicional, por processo, por produto e celular) a avaliar o dimensionamento do balanceamento de um arranjo celular, concluindo sua aprendizagem com a identificação de exemplos de aplicação de robôs para montagem, soldagem e inspeção.

Não pode faltar

Características gerais para avaliação das atividades repetitivas

De acordo com Romano (2002), o uso de robôs industriais está diretamente relacionado a quatro fatores fundamentais:

- Reduzir o custo de produção por meio de:

o Diminuição do número de operadores humanos envolvidos diretamente no processo.

o Aumento da produtividade em um espaço de tempo baseado em melhor uso dos recursos.

- Melhorar as condições de trabalho do operador humano:

o Eliminação de atividade perigosas e insalubres que dependem de contato direto com o elemento humano.

- Melhorar a qualidade do produto:

o Desempenhar o trabalho de forma consistente e ser capaz de garantir padrões de repetibilidade que não podem ser alcançados por operadores humanos.

- Realizar atividades de alta complexidade que o operador humano não tem condições de realizar de forma manual.

Com foco na questão de que um dos principais objetivos da automação é aumentar a produtividade, isto significa que você deve ter uma noção a respeito de tempos associados à realização das operações no chão de fábrica.

Para você desenvolver esta visão, o ponto de partida é compreender que todo o sistema de produção tem uma medida de capacidade de produção que foi estimada durante a fase de seu projeto.

Portanto, se você imaginar um modelo básico em que um sistema de produção é constituído por um conjunto de subsistemas que representam os recursos necessários para que os processos produtivos sejam executados, dessa forma, será necessário fazer o bom uso destes recursos, evitando a ociosidade durante a operação do sistema.

Para que um subsistema não fique parado aguardando ser utilizado, é necessário cuidar da questão de balanceamento do uso dos recursos em função do tempo.

Esse conceito é chave para que você possa realizar duas tarefas cruciais:

- Programação da produção para que possa planejar como deve ser executado o processo para atingir os alvos de produtividade que foram planejados.

- Avaliação de ganhos de produtividade com a automação, utilizando, por exemplo, sistemas robóticos.

De acordo com Filippo Filho (2014), define-se capacidade ociosa como a relação entre a diferença entre a capacidade de produção esperada e a produção real, pela capacidade de produção esperada propriamente dita. Saiba que o estudo de tempos associados à produção é um dos conceitos fundamentais que norteiam a administração científica da produção proposta por Taylor.

Por sua vez, o termo **tempo de fabricação** (*Manufacturing Lead Time* (MLT)) corresponde à medida do período de tempo necessário para a realização de um determinado processo produtivo, desde seu início até o fim e que tem como resultado um determinado produto.

Dependendo do contexto de produção em que você estiver inserido, você pode estimar o MLT e procurar aperfeiçoar este parâmetro utilizando sistemas robóticos, principalmente se existirem tarefas repetitivas que ainda não foram automatizadas.

Manufacturing Lead Time **(MLT)**

O termo **tempo de fabricação** (*Manufacturing Lead Time* (MLT)) corresponde à medida do período de tempo necessário para a realização de um determinado processo produtivo, desde seu início até o fim e que tem como resultado um determinado produto.

Por que este dado é importante?

Porque permite o dimensionamento do balanceamento das linhas de produção e a identificação de etapas que podem ser melhoradas para melhorar a produtividade.

De forma geral, o MLT pode ser estimado, dependendo do sistema de produção que estiver operando. Nesse contexto, têm-se três casos:

- Produção em lotes:

o Neste caso, a produção ocorre de forma padronizada, em lotes ou bateladas. Os recursos de produção exigem um baixo grau de flexibilidade.

$$MLT = \sum_{i=1}^{n}(T_{sui} + Q \cdot T_{oi} + T_{noi}) \quad (4.1)$$

- Produção do tipo Job shop:

o Caracteriza-se pela fabricação de produtos customizados. Ocorre uma grande variedade de produtos, que são fabricados simultaneamente, e o volume de produção de cada item é baixo.

$$MLT = \sum_{i=1}^{n} (T_{sui} + T_{oi} + T_{noi}) \quad (4.2)$$

• Produção em massa:

o A estrutura de produção é altamente especializada e a flexível operacional é muito baixa. O volume de produção é grande com baixa variação de produtos.

$$MLT = n \cdot (T_{transf} + \max T_o) \quad (4.3)$$

Nestas equações tem-se:

- MLT : tempo total de fabricação.
- T_{sui} : tempo de *setup* da máquina i.
- T_{oi} : tempo de operação da máquina i.
- T_{noi} : tempo de não operação associado à máquina i.
- Q : tamanho do lote (número de produtos agrupados no lote).
- T_{tranf} : tempo de transferência dos materiais entre as estações de trabalho.
- **maxTo**: maior tempo de operação entre as estações de trabalho da linha.
- n : número de operações em máquinas.

Projeto de células de manufatura robotizadas

Além dos fatores apresentados anteriormente, existem dois outros aspectos que você deve considerar quanto ao uso de sistemas robóticos (GROOVER, 2011):

• Eles podem ser reprogramados - uma vez que seja necessário desenvolver outro tipo de tarefa associada a outro processo produtivo, um robô é capaz de ser adaptado e reprogramado para este novo objetivo.

• São sistemas controlados por computador - este fato permite

que os sistemas robóticos possam ser integrados a outros sistemas computadorizados para que haja um controle para integração de diferentes recursos para a realização de processos produtivos.

Considerando estes dois aspectos é que são apresentadas as células de manufatura como um arranjo capaz de ser controlado de forma automática para a realização de processos em um sistema de manufatura.

De acordo com Filippo Filho (2014), o arranjo físico de um sistema de produção estabelece a localização e movimentação dos recursos de produção por meio da operação dos processos produtivos em chão de fábrica, envolvendo material, maquinário e mão de obra. A Tabela 4.1 mostra como os arranjos físicos podem ser organizados em função da lógica de uso destes elementos.

Tabela 4.1 | Três arranjos físicos básicos

	Posicional	Processo	Produto
Material	Fixo	Móvel	Móvel
Maquinário	Móvel	Fixo	Fixo
Mão de obra	Móvel	Móvel	Fixo

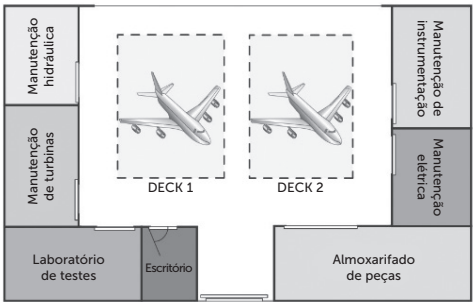
Fonte: adaptada de Filippo Filho (2014, p. 19).

Neste contexto, têm-se:

• Posicional (Figura 4.1)

o Produto fica fixo em função de suas dimensões físicas e de seu peso.

o Exemplo: construção naval.

Figura 4.1 | Arranjo físico posicional

Fonte: Biagio (2015, p. 43).

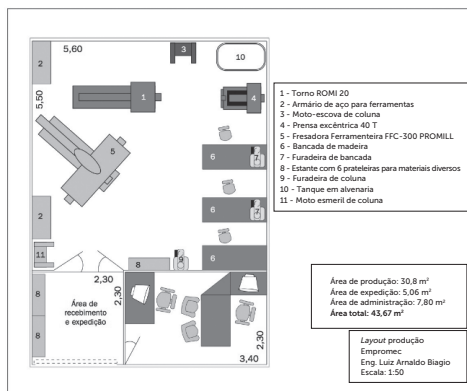
• Processo (Figura 4.2)

o Máquinas fixas em uma posição.

o Parte dos operários podem se movimentar.

o Os materiais deslocam-se até as máquinas para serem processados.

o Comumente usados em *job shop*.

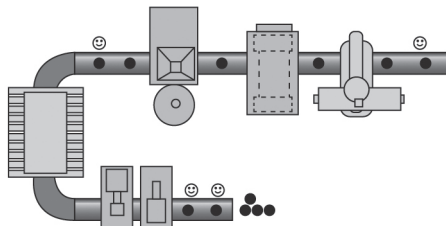
Figura 4.2 | Arranjo físico por processo

Fonte: Biagio (2015, p. 41).

• Produto (Figura 4.3)

o Máquinas fixas em uma posição.

o Os materiais deslocam-se até as máquinas para serem processados.

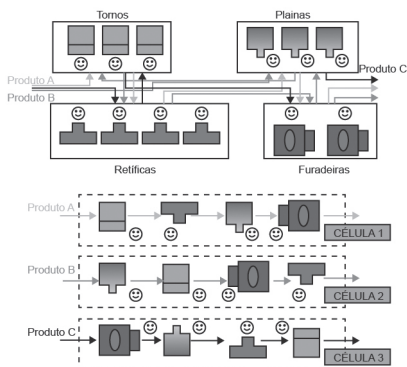
o Geralmente, o movimento do material é em linha.

Figura 4.3 | Arranjo físico por produto

Fonte: Biagio (2015, p. 44).

• Celular (Figura 4.4)

o Arranjo misto: arranjo por produto com a flexibilidade do arranjo por processo.

o Os materiais deslocam-se entre as células de acordo com a sequência de operações dos processos.

Figura 4.4 | Arranjo físico celular

Fonte: Biagio (2015, p. 42).

Baseado em Filippo Filho (2014), o balanceamento das células implica em calcular a quantidade de estações de trabalho em cada etapa da produção para que o fluxo seja o mais estável possível. Dessa forma, o procedimento consiste em distribuir as atividades sequencialmente, ao longo dos postos de trabalho. O objetivo deste procedimento é verificar os tempos gastos com manipulação e verificar quanto de melhoria de eficiência seria obtido utilizando robôs manipuladores, bem como evitar estoques intermediários e ociosidade causada por gargalos.

A variável fundamental para o dimensionamento do balanceamento da célula é o tempo de ciclo TC:

$$TC = \sum T_i$$
$$TC = \frac{T_{dpp}}{n_{ppp}} \tag{4.4}$$

Nesta equação, tem-se que:

- TC : é o tempo necessário para a produção de uma unidade,
- T_i : é o tempo necessário para realizar a operação i correspondente a produção de uma unidade.
- T_{dpp} : é o tempo disponível por período.
- n_{ppp} : é o número de peças planejado para serem produzidas no período.

Exemplificando

Automação de uma célula

De acordo com a definição de MLT, o tempo necessário para a produção de uma unidade engloba os seguintes tempos (FILIPPO FILHO, 2014):

• Tempo de processamento – tempo de processamento em cada máquina mais o tempo de manipulação do material (carga/descarga).

• Tempo de movimentação – entre células ou estações de trabalho.

• Tempo de inspeção – para verificação da qualidade.

• Tempo de espera – são as perdas em função de ociosidade ou gargalos mais tempo de *setup* das máquinas.

Observe que, de acordo com a equação (4.4), quanto menor a somatória dos tempos necessários para a produção de uma unidade, maior será o número de unidades que podem ser produzidas em um período de tempo disponível para produção.

Um procedimento para melhorar a eficiência de uma célula de manufatura consiste em quantificar os tempos envolvidos com os processos produtivos a serem executados. Uma forma de se fazer isto é calculando o termo T_i da equação (4.4), da seguinte forma:

$$T_i^R = T1 + T2 + T3 + T4 \qquad (4.5)$$

Sendo que:

$T1$: é o tempo que envolve apenas o processamento da máquina i.

$T2$: é o tempo de carregamento da máquina i por robô.

$T3$: é o tempo de descarregamento da máquina i por robô.

$T4$: é o tempo gasto pelo robô para voltar ao seu estado inicial.

Portanto, à medida que a célula for automatizada por robôs, o cálculo de T_i deve ser comparado ao de T_i^R para verificar o quanto isso aumenta a produtividade com relação à equação (4.4)

Robôs manipuladores e de processamento em estações de trabalho

Principalmente nas indústrias automobilísticas, observa-se uma

crescente inclusão de robôs industriais, principalmente em processos que envolvem usinagem de peças, soldagem, montagem e pintura.

Para as atividades de manipulação que envolvem movimentação de itens, uma das grandes aplicações que se observa é para a realização de atividades de paletização. Além disso, os manipuladores também estão presentes para a realização de atividades de classificação de peças, operações de embalagem, e colocação e retirada de peças em estações de usinagem (FILIPPO FILHO, 2014).

Como atividade de destaque para manipulação envolvendo processamento, têm-se: soldagem a arco e a ponto; pintura com spray; furação e fresagem; colagem e selamentos; corte a laser e por erosão; montagens elétricas e mecânicas (SANTOS; GORGULHO, 2015).

Reflita

Há um confronto entre operadores humanos e robôs em ambientes industriais, justamente pelo fato de haver uma ocupação de postos de trabalho crescente por parte das máquinas.

Se de um lado pode haver melhoria com a relação à produtividade e qualidade com sistemas robóticos, de outro pode haver perdas para as questões de aprendizado, memória e capacidade de movimentos, as quais no homem são muito maiores que na máquina.

Como você deve proceder para conciliar estes dois elementos conflitantes em chão de fábrica?

Robôs de montagem e inspeção

Os sistemas robóticos conseguem executar de forma sistemática operações de inspeção que permitem um maior controle de qualidade e resulta na minimização do número de produtos que não estão em conformidade com um determinado padrão de qualidade de produção. Os processos de inspeção implicam na realização de medições de objetos que podem servir para localização de contornos e detecção de falhas em processos de fabricação.

A montagem e manipulação utilizando robôs industriais representam cerca de 33% das aplicações robóticas que envolvem, de forma expressiva, as indústrias automobilística e eletrônica.

No caso da montagem, uma vez que esforços repetitivos causam doenças em seres humanos (LER – lesão por esforços repetitivos - ou

DORT - distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho), o uso de robôs é de grande importância (RIASCOS, 2010).

Geralmente, há duas configurações de robôs utilizados para montagem:

• Célula de montagem – um conjunto de sistemas auxiliares dispostos em torno do robô, que são dispositivos fixadores para que as partes possam ser manipuladas e montadas automaticamente.

• Linha de montagem – os produtos são transportados por meio de uma esteira transportadora e os robôs encontram-se posicionados ao longo da esteira e vão acrescentando os componentes de forma progressiva.

Lembre-se de que, de acordo com Riascos (2010), para projetar um sistema de montagem por meio de robôs industriais, você deve aplicar o conceito de projeto orientado a montagem que tem uma série de princípios que devem ser seguidos (DFA – *Design for Assembly*).

Pesquise mais

Uma das grandes aplicações de sistemas robóticos é para a realização de soldagem.

O processo de soldagem precisa ser realizado com alto padrão de qualidade porque pode comprometer as características estruturais de um produto.

Considere, por exemplo, o setor automobilístico. Você já imaginou que se ocorrer falhas no processo de soldagem, a estrutura mecânica poderá correr o risco de se romper quando um veículo estiver em alta velocidade?

Para ter um panorama sobre como foi a evolução dos processos de soldagem robótica na indústria automobilística, acesse o site, disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/index.php/fitsexatas/article/view/1121/760>. Acesso em: 5 set. 2017, para ler um artigo específico sobre este assunto.

Faça esta leitura para compreender os melhoramentos adquiridos com a robotização.

Sem medo de errar

Você é o gestor responsável por desenvolver o planejamento para execução de projetos de automação, utilizando robôs industriais, e terá de analisar, de forma sistemática, um sistema de produção que está sob sua responsabilidade.

Para isso, você terá de enfrentar o seguinte desafio: como proceder para avaliar a existência de atividades repetitivas que justificam o uso de um sistema robótico para automação em um sistema de produção?

Você precisa levar em consideração o escopo de organização do sistema de produção em que você deve usar robôs manipuladores, capazes de realizar processamento, considerando células de manufatura.

Para a solução deste problema, você precisa dividi-lo em três partes:

1ª Parte – Análise do escopo,

• Verifique qual é o tipo de organização de produção que está sendo adotado:

- Produção em lotes.
- Produção em massa.
- Produção do tipo *job shop.*
  - No caso em questão, como o sistema é celular, espera-se que a produção seja em lotes.
- Verifique o arranjo físico do sistema de produção:
- Posicional.
- Processo.
- Produto.
- Celular.
  - No caso, é celular.

2ª Parte – Análise das necessidades de automação.

• Calculo o MLT para poder avaliar o que pode ser melhorado:

o Tempo de processamento – tempo de processamento em cada máquina mais o tempo de manipulação do material (carga/descarga).

o Tempo de movimentação – entre células ou estações de trabalho.

o Tempo de inspeção – para verificação da qualidade.

• Tempo de espera - são as perdas em função de ociosidade ou gargalos mais tempo de *setup* das máquinas.

• Analise cada um dos tempos e busque melhorá-los.

• Se for o caso de produção em lotes, o mais comum em células, use a expressão $MLT = \sum_{i=1}^{n}(T_{sui} + Q \cdot T_{oi} + T_{noi})$.

3ª Parte – Avaliação da produtividade.

• Faça um levantamento inicial daquilo que foi projetado para ser produzido no sistema de produção.

• Para isso, calcule o tempo de ciclo TC necessário para a produção de uma unidade, utilizando a expressão $TC = \frac{T_{dpp}}{n_{ppp}}$.

• Em seguida, considere as melhorias que você provocou no tempo de operação, considerando a expressão $T_i^R = T1 + T2 + T3 + T4$.

• Calcule novamente TC, utilizando a expressão $TC = \sum T_i$ e substituindo T_i por T_i^R.

• Compare os diferentes índices de produtividade obtidos com T_i e T_i^R.

Dessa forma, você terá realizado um projeto efetivo de como um sistema robótico pode provocar mudanças de comportamento em um sistema de produção.

Avançando na prática

Produtividade de um sistema robótico

Descrição da situação-problema

Como gestor de um sistema de produção, você precisa avaliar a produtividade de uma linha de montagem mecânica. Para isso, é necessário apresentar um relatório de estudo do impacto em se adotar um sistema robótico, sabendo que o turno de produção desta célula é de 6 horas. Para a produção de uma unidade do produto, é necessário 80s de operação na célula mais 40s de manipulação manual. Estime a melhora de produtividade, utilizando um sistema robótico que executa a manipulação em 17s e necessita de 3s para voltar ao estado inicial a cada operação de manipulação.

Resolução da situação-problema

Para a operação manual, tem-se que:

$$TC = \sum T_i \Rightarrow TC = 80 + 40 = 120s = 2\min$$

$$TC = \frac{T_{dpp}}{n_{ppp}} \Rightarrow n_{ppp} = \frac{T_{dpp}}{TC} \Rightarrow n_{ppp} = \frac{6 \cdot 60}{2} = 180 peças$$

Para a operação com robô industrial, tem-se que:

$$TC = \sum T_i^R \Rightarrow TC = 80 + 17 + 3 = 100s$$

$$TC = \frac{T_{dpp}}{n_{ppp}} \Rightarrow n_{ppp} = \frac{T_{dpp}}{TC} \Rightarrow n_{ppp} = \frac{6 \cdot 60 \cdot 60}{100} = 216 peças$$

$$Ganho = \frac{216 - 180}{180} = 20\%$$

Portanto, haverá um ganho de 20% de produtividade.

Faça valer a pena

1. O uso de robôs industriais está diretamente relacionado a quatro fatores fundamentais, sendo que três deles são:
I. Reduzir o custo de produção.
II. Melhorar as condições de trabalho do operador humano.
III. Realizar atividades de alta complexidade que o operador humano não tem condições de realizar de forma manual.
Assinale a alternativa que atribui V(verdadeiro) ou F(falso) corretamente às afirmações anteriores.
a) V-V-V.
b) F-V-V.
c) V-F-V.
d) V-V-F.
e) F-V-F.

2. O termo tempo de __________ (*Manufacturing Lead Time* (MLT)) corresponde à medida do período de tempo necessário para a realização de um determinado _________ produtivo, desde seu __________ até o fim e que tem como resultado um determinado _________.
Assinale a alternativa que completa corretamente as lacunas.
a) fabricação; processo; planejamento; produto.
b) processo; recurso; planejamento; produto.
c) fabricação; processo; início; produto.
d) processo; recurso; início; produto.
e) fabricação; recurso; planejamento; produto.

3. De forma geral, o MLT pode ser estimado dependendo do sistema de produção que estiver sendo operando.

Assinale a afirmação correta sobre a expressão $MLT = n \cdot (T_{transf} + \max T_o)$:

a) Pode ser aplicada para o caso de produção em lotes.

b) n é o número de produtos.

c) Pode ser aplicada para o caso de produção do tipo *job shop*.

d) T_{tranf} é o tempo de transformação dos materiais nas estações de trabalho.

e) Pode ser aplicada para o caso de produção em massa.

Seção 4.2

Estudo de caso de automação robótica - critérios para seleção de uma solução

Diálogo aberto

Na seção anterior, você foi desafiado a avaliar a existência de atividades repetitivas que justificam o uso de um sistema robótico para automação de um sistema de produção.

Na presente seção, você terá de estabelecer um procedimento técnico para responder à seguinte questão: como realizar uma análise detalhada que seja capaz de estabelecer critérios para a seleção de sistemas robóticos para um sistema de produção? E como você considerará a questão de integração desse sistema robótico com os operadores?

Para que você possa responder a este desafio, aprenderá, inicialmente, como pode ser sistematizada a análise macro de um processo de seleção de robôs industriais que considere a questão de viabilidade econômica associada à questão de adequação técnica.

A partir de um fluxograma, você aprenderá como realizar oito etapas de análise para a seleção de um sistema robótico para automação de um sistema de produção.

Feito isso, o próximo passo será você compreender como pode ser detalhada a análise de seu projeto, considerando três contextos:

- Definição detalhada dos processos e métodos de trabalho.
- Análise da interação entre os sistemas robóticos e os operadores humanos.
- Análise de desempenho.

Dessa forma, você evoluirá, de forma consistente, para que todo o conhecimento sobre sistemas robóticos, adquiridos durante as aulas desta disciplina, possam ser aplicados de forma sistemática.

Bom trabalho!

Não pode faltar

Análise inicial e detalhada para implantação de um sistema robótico

Para motivá-lo a dominar técnicas para selecionar robôs, veja como é importante entender o que está acontecendo em termos de demanda pelo uso de robôs e quais são as estimativas para os próximos anos. Antes de prosseguir, leia o quadro *Pesquise mais*.

Observe a Figura 4.5 e veja como se apresenta a questão do impacto da robótica sobre a sociedade.

Figura 4.5 | Demanda anual por robôs industriais

Demanda anual por robôs industriais
Quantidade de novas unidades compradas e estimativas para os próximos anos

Ano	Brasil	Mundo
2014	1.266	220.571
2015	1.407	253.748
2016*	1.800	290.000
2019*	3.500	414.000

*Estimativa

Fonte: <http://www.portaldaindustria.com.br/agenciacni/noticias/2017/02/a-era-dos-robos-tecnologia-amplia-produtividade-transforma-educacao-e-salva-vidas/>. Acesso em: 3 ago. 2017.

A fonte destes dados é uma reportagem da Agência de Notícias publicada em 21 de Fevereiro de 2017 sobre "A era dos robôs: tecnologia amplia produtividade, transforma educação e salva vidas", disponível no Portal da Indústria: <http://www.portaldaindustria.com.br/>. Acesso em: 5 set. 2017.

É imprescindível a formação de profissionais que sejam capazes de projetar o uso de robôs para atuarem em sistemas de produção.

Leia maiores detalhes na fonte de onde foi extraída a Figura 4.5.

A premissa que você deve considerar é que o projeto de sistemas robóticos não é simplesmente substituir o elemento humano de tarefas repetitivas. O contexto é muito mais abrangente e você deve ter em mente as seguintes metas:

a) Obter sistemas flexíveis.

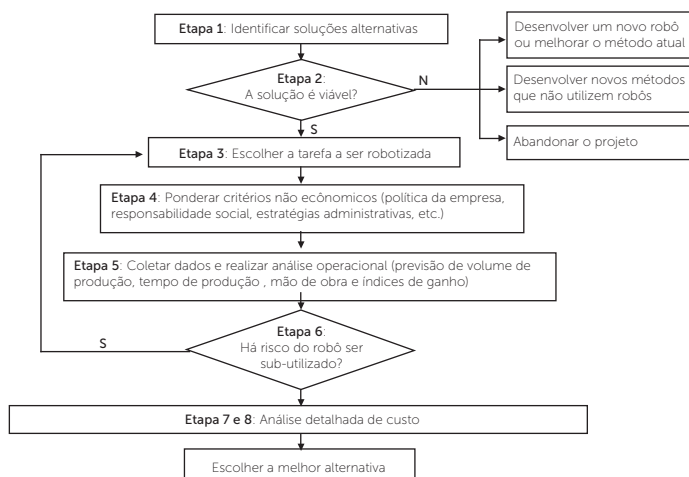
b) Aperfeiçoar a produtividade.

c) Minimizar custos operacionais.

d) Otimizar a qualidade.

e) Aprimorar as condições de saúde e segurança.

Considerando o fato dos projetos de engenharia terem de, obrigatoriamente, associar tecnologia e viabilidade econômica, você verá uma sistemática capaz de conciliar estes aspectos a partir do fluxograma ilustrado na Figura 4.6.

Figura 4.6 | Sistemática para o projeto de sistemas robóticos

Fonte: Romano (2002, p. 128).

Uma vez concluído este procedimento, você foi capaz de realizar um planejamento macro para a seleção de um sistema robótico.

Na sequência, você verá três aspectos voltados para o planejamento detalhado da seleção de robôs que contempla:

• Planejar, de forma detalhada, o método de trabalho e o processo ou processos envolvidos.

• Os detalhes que envolvem a interação de um sistema robótico

com operadores.

• Avaliar, de forma quantitativa, o ciclo de vida do projeto robótico em detalhes.

O fluxograma de atividade descrito na Figura 4.6 contém um conjunto de oito etapas que implicam nas seguintes ações:

• **Etapa 1**: identificação de alternativas para solução do problema. Lembre-se de que uma variável importante que representa a necessidade de sistemas robóticos é o volume de produção. Grandes volumes não são bons candidatos. O cenário favorável é de volumes médios de produção associados a sistemas flexíveis.

• **Etapa 2**: estudo de viabilidade. A questão é estimar se o que foi planejado pode ser realizado em um determinado *lead time*. Isto pode envolver a revisão de atividades de processamento (montagem, por exemplo) e manipulação.

• **Etapa 3**: escolha da tarefa que será automatizada por um robô. Você deve considerar a questão de agrupamento de tarefas para realizar esta etapa. Nesse contexto, considere as similaridades físicas e de fabricação das peças para que estas semelhanças permitam o uso compartilhado de sistemas robóticos.

• **Etapa 4**: consideração de aspectos não econômicos. Envolve a imagem da empresa, as políticas administrativas praticadas e a questão de reutilização de robôs em futuros projetos.

• **Etapa 5**: coleta de dados e análise operacional. Úteis para estimativa do volume de produção, índice de produtividade almejado, jornada de trabalho necessária etc.

• **Etapa 6**: planejamento para futuros projetos. Deve-se prever a utilização de robôs como sendo dispositivos flexíveis que podem ser alocados para futuros processos e novas demandas.

• **Etapa 7**: estimativa da vida útil do projeto, depreciação e encargos fiscais. Uma vez esboçada uma solução, estima-se, nesta etapa, o tempo de vida útil do projeto em questão, calculando-se a depreciação e o custo envolvido com as obrigações fiscais.

• **Etapa 8**: avaliação do custo do projeto. Nesse contexto, considera-se: (i) custo de mão de obra; (ii) custo de aquisição e partida do sistema; (iii)

custo de manutenção. A computação destes custos pode ser realizada por meio de diferentes técnicas conforme pode ser visto em Romano (2002).

Por fim, espera-se obter uma solução macro que corresponda à melhor alternativa para o sistema.

Definição dos processos e métodos de trabalho

Baseado em Romano (2002), para se planejar de forma detalhada o método de trabalho e do processo é necessário considerar as seguintes questões:

- Sobre o processo:
  - Sequenciamento das tarefas, funções e operações de:
    - Transformação.
    - Manipulação.
    - Transporte.
- Sobre o arranjo físico:
  - Fluxo de atividades no arranjo físico.
    - Definição de rotas de produção.
    - Definição de rotas de transporte e movimentação.
  - Equipamentos periféricos necessários.
- Sobre o tipo e a quantidade de recursos que envolvem:
  - Máquinas.
  - Peças, ferramentas e materiais necessários.
  - Operadores humanos e sistemas robóticos necessários.

Uma das formas de busca do aprimoramento contínuo de métodos é o uso do conceito do sistema 5S (LAMB, 2015). Trata-se de uma mudança de mentalidade para que seja possível planejar oportunidades para uma constante melhoria.

A essência deste conceito está em compreender cada vez melhor o uso dos recursos disponíveis em uma organização. Com o resultado deste aprendizado, será possível melhorar o processo de utilização destes recursos, ou seja, aperfeiçoando o rendimento, diminuindo a subutilização e aprimorando a manutenção.

Este conceito envolve uma metodologia segmentada em cinco

contextos (LAMB, 2015):

1. Contexto de seleção/utilização – retrata a questão da necessidade de recursos para serem utilizados, verificando de forma efetiva o que realmente é necessário e removendo todos os recursos que não são utilizados. Este procedimento deve minimizar os estoques intermediários e a subutilização de recursos.

2. Contexto de organização/ordenação – retrata a questão de adequação do arranjo físico para o conjunto de processos que estão sendo executados. Se os processos forem atualizados, certamente haverá impacto sobre o arranjo físico. Este procedimento orientará a logística para definição dos locais em que os recursos devem ser alocados para facilitar as operações que devem ser realizadas nos materiais que estão sendo processados.

3. Contexto de inspeção/manutenção – retrata a questão de manutenção do estado dos equipamentos e das ferramentas necessários para a realização dos processos. A realização sistemática desta atividade proporcionará a definição de uma periodicidade ideal para a manutenção dos recursos e que diminuirá a possibilidade de travamentos nos processos por causa de eventos inesperados.

4. Contexto de padronização – retrata a questão de adequação às normas vigentes para a execução dos processos de fabricação. Nesse contexto está envolvida também a questão de aferição de equipamentos para manter a certificação para que os padrões de conformidade sejam atendidos. É fundamental manter programas de treinamento e reciclagem para que haja um padrão na execução das atividades pertinentes à execução dos processos, evitando falhas.

5. Contexto de disciplina – retrata a questão de aprimoramento contínuo de forma sistemática e a multiplicação do conhecimento construído na organização.

Exemplificando

Para exemplificar como pode ser colocado em prática o contexto da disciplina, será ilustrado, como exemplo, o uso do método iterativo PDCA (derivado do termo em inglês: *Plan* (planejar); *Do* (fazer); *Check* (verificar); *Act* (atuar)) que facilita o aprimoramento contínuo dos procedimentos e seu controle. O engenheiro responsável pela automação deve sempre avaliar a questão de automação de forma sistemática, inclusive durante a operação do sistema de produção. Portanto, deve realizar o seguinte

procedimento:

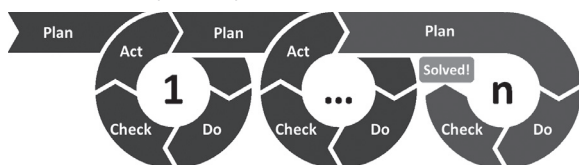
• Cuidar do planejamento dos processos e dos métodos.

• Colocar o plano em execução.

• Fazer uma medição dos resultados alcançados.

• Atuar nos diferentes contextos do conceito 5S para melhoria.

Este ciclo se repetirá indefinidamente, promovendo sempre uma melhoria contínua. Com esta prática, o conhecimento desenvolvido dentro da organização é facilmente transmitido para os demais funcionários (Figura 4.7).

Figura 4.7 | Ciclo PDCA aplicado para melhoria contínua

Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PDCA-Multi-Loop.png>. Acesso em: 3 ago. 2017

Integração com os operadores - cobots

De forma geral, podemos observar três diferentes modelos de inserção de sistemas robóticos em um sistema de produção:

• Inicialmente, a inserção de robôs foi feita mantendo-se uma separação entre as atividades realizadas por eles, e as atividades manuais executadas por operadores humanos.

• Em um segundo modelo, buscou-se uma automação total em que se pretendia remover por completo o operador, tendo como intenção desenvolver a automação total de sistemas sem intervenção humana.

• Em terceiro lugar, observou-se a tendência atual em que robôs interagem com operadores humanos, realizando atividades de montagem, ou controle supervisório de sistemas robóticos.

Neste terceiro segmento encontram-se os robôs que são projetados para desenvolverem suas atividades junto com operadores humanos. Este tipo de interação é denominado colaboração e, nesse contexto, houve o surgimento dos robôs colaborativos denominados cobots.

O termo Cobot (derivado do termo em inglês *Co-Robot*, ou seja, *Colaborattive Robot*) representa uma nova geração de robôs que começaram a fazer parte do cenário brasileiro em 2014 e apresentam as seguintes características (VITALLI, 2017):

• São desenvolvidos para interagirem diretamente com operadores humanos em um determinado volume de trabalho.

• Apresentam um volume de trabalho denominado colaborativo em que o robô e um determinado operador humano podem realizar tarefas em conjunto ou individualmente, sem que haja problemas de segurança.

• Realizam operações colaborativas, utilizando sistemas de controle embarcados que têm sistemas de controle supervisório dirigidos por eventos que permitem uma interação com o elemento humano para cooperar na realização de um conjunto de tarefas.

Há um fator importante a favor da aplicação desses robôs em chão de fábrica: dispensa um complexo conjunto de sistemas de segurança que encarecem e complicam a instalação de sistemas robóticos. Com este novo conceito, espera-se multiplicar a aplicação de robôs na indústria brasileira, uma vez que se tornam mais acessíveis para serem implantados em sistemas de produção.

Análise de desempenho

São várias as especificações de desempenho que podem estar associadas aos robôs industriais. Conforme foram estudadas nas unidades anteriores, progressivamente foi estabelecido que, a partir do referencial do robô industrial como um sistema robótico, os principais indicadores podem ser:

• Precisão do movimento envolvendo resolução de controle, acurácia e repetibilidade.

• Velocidade de movimento do manipulador, incluindo a questão de capacidade de aceleração e desaceleração, além de velocidade máxima.

• A questão de controle de trajetória.

• As dimensões e a geometria do volume ou espaço de trabalho.

• O número de graus de liberdade presente.

• A capacidade de carga e o tipo de acionamento dos atuadores.

Quando o objetivo for avaliar, de forma quantitativa, o ciclo de vida

de um projeto robótico, é necessário considerar as três principais etapas: (i) planejamento; (ii) instalação; (iii) e operação.

Para se obter bons resultados é importante aplicar a filosofia de verificação do desempenho do sistema nas diferentes fases. Este procedimento impacta na obtenção das melhores soluções, tanto do ponto de vista técnico quanto econômico.

Portanto, observe-se como pode ser seu procedimento de verificação de desempenho de um sistema robótico em um sistema de produção, de acordo com as fases descritas anteriormente (ROMANO, 2002):

- Fase de planejamento.
  - Avaliação da viabilidade econômica.
  - Avaliação da adequação técnica.
  - Composição da melhor solução.
- Fase de instalação.
  - Verificação de todos os pontos de comissionamento para implementação adequada.
- Fase de operação.
- Verificação de padrões de métodos de trabalho e de dinâmica dos processos:
  - Existência de gargalos.
    - Existência de pontos de travamento.
    - Dimensionamento de tempos de processo associados a mudanças e atualizações.
  - Treinamento de operadores.

A partir das medições realizadas, é possível estabelecer procedimentos de:

- Revisão na fase correspondente, quando for necessário.
- Medição do impacto no desempenho do sistema diante de melhorias.

Na próxima seção, você conhecerá ferramentas direcionadas para a análise quantitativa de sistemas de produção.

Reflita

A tendência de aplicação de sistemas robóticos como sendo um fator essencial para que um sistema de produção se torne, ou se mantenha,

competitivo é uma realidade.

Entretanto, sistemas robóticos tradicionais implicam em grandes investimentos que podem ser inviáveis para a realidade de várias empresas.

Como você planejaria uma solução para este perfil de empresa sobreviver em um cenário de grande competitividade?

Sem medo de errar

Seu desafio atual é dar mais um passo para dominar procedimentos para o planejamento de aplicações de robôs industriais. Para isso, você precisa responder ao seguinte questionamento: como você deve proceder para avançar para uma análise detalhada de estabelecer critérios para a seleção de uma solução de sistemas robóticos para um determinado sistema de produção? E a questão de possibilidade de integração com os operadores humanos?

Para responder a essas questões, você deve redigir um relatório técnico em duas partes: que explique passo a passo o procedimento a ser adotado para a seleção de robôs em uma primeira parte (correspondente ao planejamento macro) e a questão de interação com o operador humano em outra parte (correspondente ao planejamento detalhado).

Primeiramente, para estabelecer uma sistemática para o planejamento de uma solução de sistema robótico, retomaremos a Figura 4.6.

Aplicando-se o procedimento descrito no fluxograma da Figura 4.6, você executará as seguintes etapas do planejamento macro:

- **Etapa 1**: identifique as alternativas para solução do problema. Verifique que não se trata de uso equivocado de um sistema robótico.
- **Etapa 2**: estude a viabilidade para que você possa identificar as possíveis situações:
    - Não é viável por que:
        - É necessário desenvolver um novo sistema robótico?
        - É uma questão de melhoria do atual?

- Você concluiu que é melhor partir para outra natureza de solução que não utiliza robôs?

    - É viável porque você verificou que será possível produzir um determinado produto de acordo com o *lead time* desejado, de forma confiável.

- **Etapa 3**: escolha a tarefa ou o conjunto de tarefas que será ou serão automatizadas por um ou mais robôs. A questão vital é resolver o problema de agrupamento de tarefas, esclarecendo como você fará isso:
    - Verificando as similaridades físicas.
    - Verificando as similaridades de fabricação das peças.
- **Etapa 4**: contabilize os aspectos não econômicos que sejam relevantes para a empresa.
- **Etapa 5**: colete os dados e faça uma análise operacional para estimar o volume de produção, o tempo de produção, a produtividade em si e a necessidade de mão de obra.
- **Etapa 6**: avalie o risco de o robô ser subutilizado e, se for o caso, planeje seu uso em futuros projetos para justificar o investimento atual.
- **Etapa 7**: faça uma estimativa da vida útil do projeto, da depreciação e dos encargos fiscais.
- **Etapa 8**: feche uma avaliação do custo do projeto, considerando:
    - Custo de mão de obra.
    - Custo de aquisição e partida do sistema.
    - Custo de manutenção.

Feita esta estimativa macro, você pode evoluir para a segunda parte, isto é, a análise detalhada que envolve a interação do robô com o operador humano.

Verifique a possibilidade de uso de cobots, uma vez que isso impacta na diminuição de custos e redução da complexidade do projeto. Nesse sentido, faça um estudo dos três aspectos a seguir:

- Etapa 1: aplique o conceito de colaboração em uma área bem definida.
- Etapa 2: defina um volume de trabalho colaborativo em que o robô e o operador humano podem realizar tarefas em conjunto ou individualmente.

• Etapa 3: definição do processo de interação entre o robô e o operador humano, de acordo com o processo de produção.

Dessa forma, a adequação do sistema de controle colaborativo dos cobots será avaliada.

Avançando na prática

Paletização robotizada

Descrição da situação-problema

Considere a questão de paletização de itens ao final de uma linha de produção de uma fábrica de um determinado bem de consumo, que é realizada manualmente. O problema que está ocorrendo é a necessidade de substituição frequente de operadores humanos em virtude do ritmo de trabalho ser intenso e estressante. Como você procederia para avaliar o desempenho de um projeto de robotização desta natureza?

Resolução da situação-problema

Considerando o ciclo de vida do projeto, você deve aplicar os índices de desempenho em cada fase dele, ou seja:

Fase de planejamento.

- Considerar a questão de eliminar custo com saúde dos operadores.
- Considerar a questão de ganho de produtividade pela capacidade de operação de 24h por dia sem interrupção.
- Considerar a questão do projeto da garra que seja adequada para a manipulação dos itens.

Fase de instalação

- Verificação da questão de posicionamento dos itens para que a precisão necessária seja atingida.

Fase de operação

- Verificar a possibilidade de haver gargalos. Por exemplo, demora na remoção do palete carregado em função do tempo gasto para a realização do processo de paletização.
- Dimensionamento de tempos de processo associados às mudanças e atualizações na forma como o processo

está sendo executado. Por exemplo, utilizar uma garra que transporte dois itens em vez de um de cada vez em direção ao palete.

• Treinamento de operadores para supervisão do processo no caso de acidentes. Por exemplo, um item que se desprende da garra durante a movimentação, gerando um alarme e uma paralisação do movimento do manipulador, sendo necessária a remoção manual do item e posterior reset do manipulador.

Faça valer a pena

1. O projeto de sistemas robóticos se trata simplesmente da substituição do elemento humano de tarefas repetitivas. O contexto é muito mais abrangente.
Nesse cenário, avalie as afirmações a seguir, a respeito das metas que devem ser contempladas:
I. Obter sistemas dedicados de baixa flexibilidade.
II. Aperfeiçoar a produtividade.
III. Minimizar custos operacionais.
Assinale a alternativa correta, de acordo com as afirmações estabelecidas anteriormente.
a) Somente a afirmação I está correta.
b) Somente a afirmação II está correta.
c) Somente a afirmação III está correta.
d) Somente a afirmação I está incorreta.
e) Todas as afirmações estão corretas.

2. Após realizar o planejamento macro para a seleção de um sistema robótico, você se deparará com três aspectos necessários para o detalhamento do seu planejamento.
Nesse contexto, assinale a alternativa correta.
a) Planejar de forma detalhada o método de trabalho.
b) Não cabe o detalhamento dos processos.
c) A interação entre operador e robô já foi detalhada na análise macro.
d) O ciclo de vida do projeto já foi analisado na fase macro.
e) Só é possível uma análise qualitativa do ciclo de projeto.

3. Considerando o fato de os projetos de engenharia precisarem associar ______________________ e ______________________, faz-

se necessário estabelecer uma sistemática capaz de conciliar estes aspectos. Uma forma de representar esta sistemática é por meio de um ______________________.

Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas.

a) treinamento; treinamento; fluxograma.

b) tecnologia; viabilidade econômica; formulário.

c) tecnologia; viabilidade econômica; fluxograma.

d) treinamento; viabilidade econômica; fluxograma.

e) tecnologia; treinamento; fluxograma.

Seção 4.3

Estudo de caso de automação robótica - validação quantitativa por simulação

Diálogo aberto

Na última unidade desta disciplina, você está aprendendo a planejar projetos de automação utilizando sistemas robóticos.

Para isso, você aprendeu a planejar o uso de sistemas robóticos para realizar atividades repetitivas em um sistema de produção, considerando o contexto de realização de atividades de processamento e a questão de células de manufatura.

Outro passo foi dominar uma sistemática para análise detalhada de critérios para a seleção de uma solução de sistemas robóticos para um sistema de produção.

Por fim, você, responsável por planejar soluções de automação, terá de solucionar o seguinte problema como é possível fazer uma avaliação quantitativa de um sistema produtivo? Nesse contexto, como se define um procedimento para que, antes de se desenvolver um projeto de automação envolvendo sistemas robóticos, seja possível estimar o desempenho que o novo sistema de produção automatizado terá?

Para resolver este problema, você conhecerá o simulador Arena e seus módulos para a geração de modelos de simulação.

Aprenderá também o que é simulação e os principais conceitos envolvidos com essa realidade.

Verá como pode ser um procedimento básico para geração de modelos conceituais, modelos computacionais e a questão da análise dos indicadores de desempenho para um aprimoramento do sistema de produção em estudo.

Dessa forma, conclui-se a capacitação fundamental para o planejamento de sistemas robóticos para a automação de sistemas de produção.

Bom trabalho para a conclusão desta disciplina!

Não pode faltar

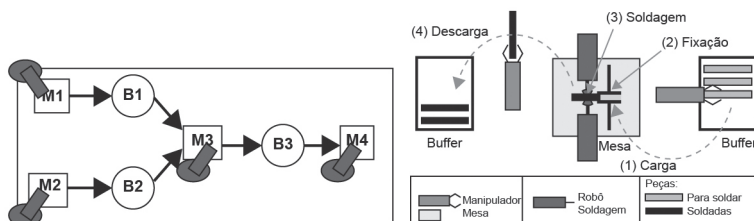
Representação do ambiente do sistema produtivo

Na Unidade 2, você teve a oportunidade de aprender a respeito de programação de robôs e como utilizar os simuladores para validação dos programas utilizados para controlar o robô para que sejam executadas as tarefas desejadas.

O objetivo desta seção é permitir que você avalie o que acontece com um sistema de produção, após serem planejadas determinadas ações de automação.

O software de simulação Arena foi desenvolvido com o objetivo de simular sistemas de produção dirigidos por eventos, com a intenção de analisar os efeitos e impactos produzidos por possíveis alterações que podem ser realizadas em um sistema de produção. Dessa forma, uma vez planejada a inserção de um sistema robótico em um sistema de produção, é muito importante que seja possível simular seus efeitos para que haja um estudo sobre os impactos causados pelo investimento que será necessário realizar.

Como ponto de partida, você deve ter uma representação esquemática do sistema de produção que deseja analisar. Veja um exemplo na Figura 4.8 a seguir.

Figura 4.8 | Exemplo de modelo esquemático de um sistema de produção

Fonte: adaptada de Soares e Geisa (2015).

O ambiente do software Arena pode ser visto na Figura 4.9. Este software apresenta diversas características importantes (FERNANDES, 2012):

- Tem interface gráfica com a flexibilidade das linguagens de simulação.
- Permite modelagem hierárquica associada ao uso da linguagem Siman, linguagem de simulação de sistemas.

• Possibilidade de inserção de código em linguagens de programação de alto nível, como Visual Basic, C/C++ ou Java para especificação de detalhes de simulação.

• Tem integração com o Microsoft Office, sendo possível acessar e gravar dados no Microsoft Office Excel e no Microsoft Office Access.

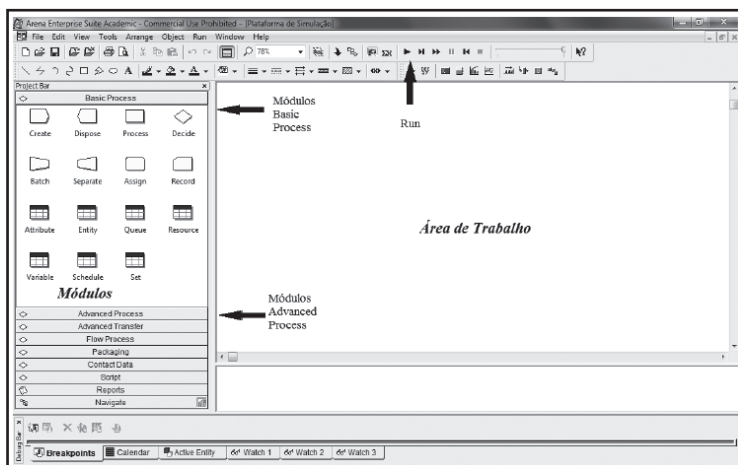
• Tem ferramenta para otimização: Input Analyser.

• Em termos de declaração de variáveis, apresenta os seguintes recursos:

• Tipos de variáveis disponíveis: vetores, matrizes, listas, tabelas, entre outras.

• Variáveis internas: associadas aos tempos do relógio de simulação, por exemplo.

• Variáveis definidas pelo usuário: associadas às médias de tempo de serviço, por exemplo.

Figura 4.9 | Tela do simulador ARENA

Fonte: Fernandes (2012, p. 13).

Definição das entidades e dos processos

Antes de prosseguir, é importante fixar alguns conceitos. O primeiro diz respeito ao que vem a ser o significado do termo simulação:

> a simulação é a reprodução mais fidedigna de uma operação de um processo do mundo real, ou de um

> sistema ao longo de um determinado tempo, num ambiente controlado. Deste modo, será possível compreender o comportamento do processo do mundo real ou sistema, e determinar um conjunto de soluções ou otimizações da simulação em questão. Esta se tornou numa técnica importante para planejamento, concepção e controle de sistemas.(FERNANDES, 2012, p. 6)

Um dos pontos frágeis da análise de um sistema por simulação é que depende da qualidade do modelo e da habilidade do analista. Por este motivo, é essencial que você tenha entendimento sobre os seguintes conceitos, utilizados para se construir modelos de simulação:

• **Atividade** – consiste em um período de tempo que simula a execução de algo no sistema real. Pode ser um valor constante ou estocástico.

• **Entidade** – são objetos dinâmicos criados pelo usuário ou pelo próprio software que são capazes de realizar alguma atividade, envolvendo processo, manipulação ou transporte. Nesse contexto, pode ser uma máquina, um robô, uma pessoa etc.

• **Atributos** – são as propriedades inerentes a uma entidade.

• **Variáveis** – são usadas para caracterizar o sistema e podem ser alteradas pelas entidades.

• **Recursos** – são os elementos que representam a instanciação das entidades, ou seja, que podem ser consumidos pelas entidades. Portanto, é de se esperar que as entidades disputem o uso dos recursos disponíveis.

• **Registradores estatísticos** – têm a função de armazenar os dados que mostram a evolução do processo de simulação. Estes podem representar o número de peças produzidas por unidade de tempo, ou outro índice de desempenho do sistema.

• **Eventos** - é uma ação que provoca uma mudança de estado, sendo capaz de alterar os atributos de uma entidade, o valor das variáveis do sistema, os dados dos registradores estatísticos, por exemplo.

O software Arena utiliza o conceito de módulo para programar a lógica associada ao modelo de simulação. Estes módulos são programados em Siman ou Visual Basic (FERNANDES, 2012). Os

módulos são agrupados de acordo com suas funcionalidades. A partir do uso destes, você pode associá-los para modelar o processo a ser simulado.

O primeiro conjunto constitui a classe dos módulos que executam as funções básicas. Estes módulos de rota de processo são do tipo Basic Process. São eles (FERNANDES, 2012):

• Create - utilizado para criar e identificar o tipo de entidade a ser utilizada no modelo de simulação. O referencial para criar as entidades deve ser um cronograma ou o tempo entre as chegadas.

• Dispose - este comando elimina as entidades do modelo de simulação quando for necessário suprimi-las.

• Process - corresponde ao método de processamento na simulação que pode alocar e liberar os recursos disponíveis. Para isto, atribui-se um tempo de processamento à entidade, que pode ser de diferentes naturezas: incremental, de espera, transferência, entre outros. Além disso, tem o recurso de gerar submodelos para definição de hierarquia.

• Decide – para modelar os pontos de tomada de decisão inerentes aos processos. Podem ser utilizadas expressões lógicas ou probabilidades. As condições podem ser representadas por meio de valores de atributos ou variáveis, de acordo com o tipo de entidade, por exemplo.

• Batch – comando para agrupar entidades. Esta ação poderá ser aplicada em dois contextos: permanente ou temporário. O comando separate deverá ser usado posteriormente no caso de ser temporário.

• Separate – este comando pode ser utilizado para particionar uma agregação efetuada pelo comando batch ou pode ser usado para representar uma entidade em várias outras.

• Assign – é utilizado para fazer operações de atribuição de valores. Esta operação pode ser realizada sobre variáveis e os diversos atributos que podem estar associados às entidades.

• Record - comando para gravar os dados estatísticos gerados pela simulação.

Na sequência, têm-se os módulos de rota de processo do tipo Advanced Process para programação de funções mais específicas para manipulação de variáveis como (FERNANDES, 2012):

• Adjustable variable – ajusta uma variável para um determinado valor.

• Delay – é utilizado para especificar um determinado tempo de atraso para ser aplicado a uma entidade.

• Dropoff – é utilizado para remover um determinado número de entidades de grupo de entidades para enviar para outro módulo, de acordo com a conexão do modelo gráfico estabelecido.

• Hold – este módulo retém uma entidade indefinidamente (até que um comando remove seja dado), ou então, até que uma determinada condição se torne verdadeira.

• Match – reúne entidades que estão no modo de espera em filas diferentes.

• Pickup – remove consecutivamente as entidades de uma fila, de acordo com a ordem especifica em uma fila.

• Readwrite – tem como função ler os dados de entrada de um arquivo ou teclado e registrar os dados em variáveis ou atributos, ou ainda em arquivos de saída.

• Release – é utilizado para liberar unidades de um recurso que tem uma entidade alocada anteriormente. A liberação de recursos pode ocorrer de forma individual ou coletiva de tal forma que, assim que a entidade entra neste módulo, ela recebe o controle do recurso ou recursos especificados.

• Remove - é usado quando for necessário retirar uma entidade de uma determinada fila para que seja enviada para outro módulo anteriormente determinado.

• Search – é uma função de busca por entidade que satisfaça a uma determinada condição.

• Seize – tem a função de receber uma entidade e alocar os recursos que ela necessita, de tal forma que esta permaneça em uma fila até que a alocação solicitada seja atendida.

• Signal – é utilizado para enviar um sinal habilitador para cada módulo hold para liberar as entidades correspondentes.

• Store/unstore – adiciona ou remove uma entidade ao armazém.

A próxima etapa, por sua vez, consiste em modelar a movimentação das entidades para executar as tarefas associadas ao

processo produtivo que estiver sendo simulado. Nesse contexto, estes módulos estão divididos em três:

A. Módulos para representar o fluxo das operações.

B. Módulos para representar o fluxo por meio de esteiras.

C. Módulos para representar o fluxo de transporte de itens.

Sobre os módulos para controle dos fluxos de rota de operação, esteiras e transporte, tem-se o seguinte detalhamento (FERNANDES, 2012):

A. Módulos para representar o fluxo das operações

a. Enter – este módulo é usado para informar quando uma entidade entra em uma estação ou em um conjunto de estações associados a um determinado local em que uma etapa de transformação de itens que estão sendo processados ocorre. Com isso, podem ser liberados transportadores para executar o transporte em si.

b. Leave – é usado para transferir uma entidade para uma estação ou um novo módulo. Esta transferência pode acontecer por rota de produção, por esteira ou por transporte.

c. Pickstation – módulo que seleciona a estação, conforme a lógica programada.

d. Route – transfere uma entidade para outra estação destino, de acordo com a lógica do processo, de tal forma que quando a entidade entra neste módulo, o atributo Entity Station aponta para a estação destino. Dessa forma, a entidade é enviada obedecendo ao tempo de percurso programado.

e. Station – este módulo é usado para definir uma estação ou um conjunto de estações associados a um determinado local em que uma etapa de transformação de itens que estão sendo processados ocorre.

B. Módulos para representar o fluxo por meio de esteiras

a. Activate – usado para atuar em duas situações: quando um transportador foi inativado ou quando foi interrompido seu percurso. Nos dois casos, no momento em que a unidade é ativada, a entidade assume o controle sobre o transportador.

b. Allocate – tem como função atribuir uma esteira a uma entidade, mas não envolve a operação de transporte.

c. Free – sua função é liberar o estado de uma entidade do tipo esteira

que tenha sido alocada anteriormente.

d. Halt – sua função é modificar o estado de uma entidade do tipo esteira.

e. Move – é utilizado para mover um transportador de um ponto para outro sem que a entidade de controle seja alterada, até que o transportador chegue em seu ponto de destino.

f. Request – tem a função de atribuir uma unidade que realiza transporte a uma entidade que necessita desta operação.

g. Transport – é usado para representar o transporte de entidades para uma estação destino.

C. Módulos para representar o fluxo de transporte de itens

a. Access – é utilizado para alocar a quantidade de células presente em um transportador de uma entidade, para mover-se de uma estação para outra.

b. Convey – é utilizado para simular o tempo de transporte de uma entidade por meio de uma esteira.

c. Exit – este módulo libera as células da entidade, conforme a esteira especificada.

d. Start – corresponde a uma operação de set, ativando o estado.

e. Stop – corresponde a uma operação de reset, desativando o estado.

Avaliação quantitativa por simulação

O objetivo da simulação é medir quantitativamente taxas de desempenho de um sistema real por meio de modelos computacionais. Para isso, existem diversas plataformas de simulação e, nesta seção, estamos utilizando o software Arena como exemplo. A partir do modelo de simulação desenvolvido pelo analista/usuário, é possível utilizar indicadores de desempenho para que seja feita uma análise quantitativa que oriente de forma objetiva qual é o impacto de propostas de mudança em um sistema de produção.

Orientação para a construção de modelos de simulação

Na Figura 4.8, você viu um exemplo de ponto de partida para a construção de modelos de simulação. Trata-se do desenvolvimento de um modelo conceitual que pode ter a descrição de um modelo estrutural das partes do sistema de produção e como elas se relacionam logicamente. Após esta representação esquemática do sistema de produção em estudo, é necessário construir o modelo de simulação adequado. Para isso, você deve:

A. Fazer em uma descrição textual detalhada do(s) processo(s) produtivo(s) para que você tenha um modelo conceitual inicial que represente o comportamento do sistema real.

B. Desenvolver o modelo computacional do processo, utilizando os módulos de rota de processo do software Arena, além dos demais módulos, conforme a necessidade, dando ênfase para o gerenciamento do comportamento das filas.

C. Analisar os indicadores de desempenho e propor melhorias para reavaliar o novo modelo, voltando para o item B para fazer as devidas alterações no modelo computacional, caso a meta ainda não tenha sido atingida.

Durante este ciclo de análise, você dever ter como meta alcançar um ponto de equilíbrio que envolve o balanceamento, a produtividade e a eficiência do sistema proposto.

Portanto, o software Arena é uma plataforma para se construir modelos de simulação de sistemas reais para que seja possível avaliar o impacto de propostas de melhorias, utilizando indicadores de produtividade para auxiliar a tomada de decisão de cada alteração proposta.

Reflita

Um dos problemas com o qual nos deparamos, quando utilizamos a simulação é que você pode ser questionado sobre ter que realizar um ciclo que envolve modelagem conceitual e computacional, execução de programas e análise.

Este ciclo pode ser dispendioso e consumir um período de tempo

elevado.

Como você defenderia e justificaria que a análise por simulação é vantajosa?

Pesquise mais

A melhoria contínua de sistemas de produção é algo que deve fazer parte das diretrizes de trabalho de um engenheiro responsável pela gestão da automação e robótica.

É importante conhecer em detalhes como utilizar ambientes de simulação para validar as estratégias de melhorias que tenham maior impacto sobre a competitividade de uma organização.

Martins (2015) apresenta um modelo de simulação de processos que ilustra o potencial de uma ferramenta computacional para avaliar o impacto de alterações em um determinado cenário de produção. É um texto de fácil leitura e que pode potencializar sua visão de gestor de melhorias contínuas em sistemas de produção.

Este artigo pode ser acessado a partir do *link* a seguir, disponível em: <http://www.aprepro.org.br/conbrepro/2015/anais2015.php?ordem01=titulo&ordem02=titulo>. Acesso em: 10 set. 2017.

Boa leitura!

Sem medo de errar

Você, responsável por planejar soluções de automação, terá de solucionar, nesta seção, o seguinte problema: como se pode fazer uma avaliação quantitativa de um sistema produtivo, de tal forma que seja possível definir um procedimento para que antes de se desenvolver um projeto de automação envolvendo sistemas robóticos, seja possível estimar o desempenho que o novo sistema de produção automatizado apresentará?

A solução deste problema pode ser implementada por meio de uma plataforma de simulação que permita a modelagem que represente o comportamento deste sistema produtivo e sua estrutura.

O processo de modelagem e simulação pode ser dividido em três

etapas.

Etapa 1 – Modelo conceitual

- Desenvolva um modelo estrutural esquemático para representar os elementos do sistema e como eles estão logicamente interligados para facilitar o entendimento.

- Faça uma descrição textual que represente os processos produtivos que estarão sendo executados neste sistema produtivo.

Etapa 2 – Modelo computacional

- Desenvolver o modelo computacional do processo, utilizando os módulos de rota de processo do software Arena, além dos demais módulos, conforme a necessidade, dando ênfase para o gerenciamento do comportamento das filas.

Etapa 3 – Análise dos resultados

- Analisar os indicadores de desempenho e propor melhorias para reavaliar o novo modelo, voltando para a etapa 2 para fazer as devidas alterações no modelo computacional, caso a meta ainda não tenha sido atingida.

Avançando na prática

Modelo de simulação

Descrição da situação-problema

Um determinado processo que ocorre em um sistema de produção envolve o torneamento de uma peça, seguido de uma etapa de furação para que depois seja inspecionado e seja aceito ou rejeitado se estiver fora das especificações.

Para gerar o modelo computacional utilizando os módulos de rota de processo disponíveis no software de simulação Arena, como você poderia orientar o usuário para esboçar esse modelo?

Resolução da situação-problema

Considerando este modelo conceitual simplificado de descrição do processo, para gerar o modelo computacional seria necessário:

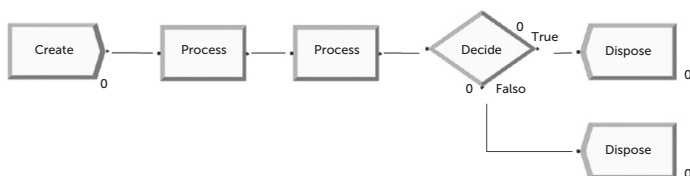
- Módulo create para gerar as entidades necessárias.

- Módulo process para representar cada processo de transformação.

• Módulo decide para inspeção.

• Módulo dispose para liberar as entidades em caso de aprovada ou reprovada.

A Figura 4.10 esboça o modelo computacional da rota do processo.

Figura 4.10 | Modelo computacional proposto

Fonte: elaborada pelo autor.

Faça valer a pena

1. O ambiente do software Arena apresenta diversas características importantes:
I. Tem interface gráfica com a flexibilidade das linguagens de simulação.
II. Não permite modelagem hierárquica.
III. Utiliza a linguagem Siman.
Assinale a alternativa correta com relação à análise das afirmativas anteriores.
a) Somente a afirmativa I é verdadeira.
b) Somente a afirmativa II é verdadeira.
c) Somente a afirmativa III é verdadeira.
d) Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.
e) Somente as afirmativas I e III são verdadeiras.

2. O software de simulação Arena foi desenvolvido com o objetivo de simular sistemas de produção dirigidos __________, com a intenção de analisar os ___________ produzidos por possíveis ___________ que podem ser realizadas em um sistema de produção.
Assinale a alternativa que preenche as lacunas corretamente.
a) Por eventos; defeitos; impactos.
b) Pelo tempo; defeitos; alterações.
c) Por eventos; defeitos; alterações.
d) Por eventos; impactos; alterações.
e) Pelo tempo; impactos; alterações.

3. Em termos de declaração de variáveis, software de simulação Arena apresenta os seguintes recursos:

I. Tipos de variáveis disponíveis: vetores, matrizes, listas, tabelas, entre outras.

II. Variáveis internas: associadas às médias de tempo de serviço, por exemplo.

III. Variáveis definidas pelo usuário: associadas aos tempos do relógio de simulação, por exemplo.

Assinale a alternativa que atribui corretamente V(verdadeiro) ou F(also) às afirmativas anteriores.

a) V-V-V.
b) V-F-F.
c) F-F-F.
d) V-V-F.
e) V-F-V.

Referências

BIAGIO, L. A. **Como administrar a produção**. Barueri: Manole, 2015.

FERNANDES, A. **Simulação de linha de produção usando a plataforma Arena.** Relatório técnico. Bragança: Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, 2012. 73p.

FILIPPO FILHO, G. **Automação de processos e de sistemas**. Sao Paulo: Erica, 2014.

GROOVER, M. P. **Automação industrial e sistemas de manufatura**. 3. ed. São Paulo: Pearson, 2011.

LAMB, F. **Automação industrial na prática** - Série Tekne. Porto Alegre: AMGH, 2015. 376 p.

MARTINS, E. R. Modelo de simulação dos processos de uma lavanderia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUCAO, 5., 2015. **Anais**... Parana: CONBREPO, 2015. Disponivel em: <http://www.aprepro.org.br/conbrepro/2015/anais2015.php?ordem01=titulo&ordem02=titulo>. Acesso em: 10 set. 2017.

ROMANO, V. F. **Robótica industrial**: aplicação na indústria de manufatura e de processos, São Paulo: Edgard Blucher, 2002.

RIASCOS, L. A. M. **Fundamentos de robótica manipuladores e robôs móveis**. São Paulo: Pleiade, 2010.

SANTOS, W. E.; GORGULHO JÚNIOR, J. H. C. **Robótica industrial:** fundamentos, tecnologias, programação e simulação. São Paulo: Erica, 2015.

VITALLI, R. **Cobots: robôs colaborativos industriais**. A voz da indústria. 2017. Disponível em: <http://avozdaindustria.com.br/cobots-robos-colaborativos-industriais/>. Acesso em: 21 jul. 2017.

SOARES, J. C. F.; GEISA, F. Utilização da ferramenta de simulação arena na análise de sistemas de células robôs na fabricação de chassis. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA, 2015. **Anais**... Fortaleza: CONTECC, 2015. Disponível em: <http://www.confea.org.br/media/Mecanica_utilizacao_da_ferramenta_de_simulacao_arena_na_analise_de_sistemas_de_celulas_robos_na_fabricacao_de_chassis.pdf>. Acesso em: 10 set. 2017.